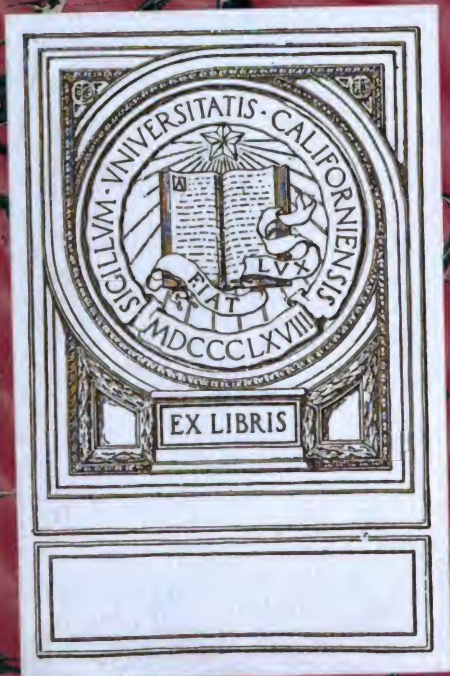


Traité élémentaire des chemins de fer
 Auguste Perdonnet





4 ml.

2161

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE
DES
CHEMINS DE FER

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1

Digitized by Google



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER

PAR

AUG. PERDONNET

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
DIRECTEUR DE L'ÉCOLE IMPÉRIALE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES
ANCIEN PROFESSEUR A CETTE ÉCOLE
ANCIEN INGÉNIEUR EN CHEF DE PLUSIEURS CHEMINS DE FER
ADMINISTRATEUR DÉLÉGUÉ DES CHEMINS DE FER DE L'EST DE LA FRANCE, ADMINISTRATEUR DU CHEMIN DE FER
DE L'OUEST DE LA SUISSE, MEMBRE DU COMITÉ MIXTE DU CHEMIN DE FER GUILLAUME-LUXEMBOURG
PRÉSIDENT HONORAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE
PRÉSIDENT DE L'ASSOCIATION POLYTECHNIQUE
MEMBRE DE LA COMMISSION IMPÉRIALE DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867

TROISIÈME ÉDITION

REVUE, CORRIGÉE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

TOME PREMIER

PARIS

GARNIER FRÈRES, LIBRAIRES-ÉDITEURS

6, RUE DES SAINTS-PÈRES, ET PALAIS-ROYAL, 215

—
1865

Tous droits réservés

LIBRAIRIE GIBERT-PARIS-V^o

SECTION TECHNIQUE

23 - Quai Saint-Michel - 23

HE 1031

P4

v.1

AVIS AU RELIEUR

POUR LE PLACEMENT DES CARTES, FIGURES ET TABLEAUX

TOME PREMIER

Portrait de George Stephenson, au titre.	
Carte des chemins anglais.	54
— — français.	42
— — de l'Europe centrale.	49
— — d'Espagne.	59
— — d'Amérique.	74
— — de l'Inde.	87
Tableau des chemins anglais.	526
— — français.	526
— — belges.	526
— — allemands.	526
Tranchée de Clamart.	407
Viaduc du Val-Fleury (fig. 90).. . . .	485
— de Nogent-sur-Marne (fig. 91, 92).	484
— de Chaumont (fig. 93).	485
— de Comelle (fig. 94).	485
Pont de Kehl (fig. 116).	501
— de Bordeaux (fig. 117).	505
— d'Offenbourg (vue latérale) (fig. 118).	504
— — (tête du pont) (fig. 119).	504
de Fribourg (fig. 126).	507

PERDONNET

683027

TOME DEUXIÈME

Portrait de Marc Séguin, au titre.	
Tableau de la manutention des marchandises au chemin de Lyon. . .	308
Gare de l'Est (fig. 544).	492
-- du Nord, à Bruxelles (fig. 545)..	495

TOME TROISIÈME

Portrait de Von Denis.	
Notice sur Von Denis, après le titre.	
Machine Sharp Roberts (fig. 56).	82
-- Stephenson (fig. 57).	82
-- Crampton (fig. 50).	100
-- Engerth (fig. 64).	116

TOME QUATRIÈME

Portrait de Pierre Simons.	
Notice biographique sur Pierre Simons, après le titre.	

ERRATA GÉNÉRAL

DES QUATRE VOLUMES

PREMIER VOLUME

- Page 9, ligne 56. *Au lieu de* : d'un train de marchandises, *lisez* : d'une tonne.
 — 41. — 52. *Au lieu de* : Rosendal à Helsingue, *lisez* : Rosendal à Flessingue.
 — — — 54. *Au lieu de* : Utrecht à Boutel, *lisez* : Utrecht à Bostel.
 — — — 56. *Au lieu de* : Amsterdam à Nieuwedick, *lisez* : Amsterdam à Nieuwidiep.
 — 45. — 50. *Au lieu de* : au bas de la tribune, *lisez* : en bas.
 — 61, dernière ligne. *Au lieu de* : 812 kilom., *lisez* : 785,5 kilom.
 — 62. — 2. *Au lieu de* : 5024 kilom., *lisez* : 1997,5 kilom.

DEUXIÈME VOLUME

- Page 170, ligne 1^{re}. *Au lieu de* : $\text{Coty } \frac{\alpha - P}{2}$ *lisez* : Cotg.
 — — — 12. *Au lieu de* : Coty, *lisez* : Cotg.
 — 190. — 14. *Au lieu de* : grande plaque du Lyon, *lisez* : de Lyon

TROISIÈME VOLUME

- Page 506, ligne 1^{re}. *Au lieu de* : LOCOMOTIVES A GRANDE VITESSE, *lisez* : VITESSE.
 — 409. — 5. *Au lieu de* : $f''(P+p) \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\rho} + f'' \frac{P+p}{g} \frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{\rho R}$,
lisez : $f''(P+p) \frac{\sqrt{a^2+h^2}}{\rho} + f'' \frac{P+p}{g} \frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{\rho R}$.
 — 415. — 14. *Au lieu de* : $0,0026 (P+p)$, *lisez* : $0,0029 (P+p)$.
 — — — 25. *Au lieu de* : le coefficient B, *lisez* : le coefficient θ .
 — 419. — 1^{re} de la 4^e colonne du tableau. *Au lieu de* : 5,51, *lisez* : 5 kil. 44.
 — — Dernière ligne de la 1^{re} colonne. *Au lieu de* : 59,5, *lisez* : 79,5.
 — 422. Supprimez le mot *alignement* aux deux premières lignes de la 1^{re} colonne du tableau.
 Remplacez le mot *rayon* par le mot *rampe* dans l'avant-dernière colonne.
 — 425. ligne 15. *Au lieu de* : 17 wagons, *lisez* : 55 wagons.
 — 557. Observations au bas du tableau. *Lisez* : de 0,0 à 5 tonnes, on comptera $\frac{5}{4}$ d'unité, de 5 à 7 tonnes, une unité, de 7 à 10 tonnes, 1 $\frac{1}{2}$ unité.

ERRATA GÉNÉRAL.

QUATRIÈME VOLUME

- Page 50, ligne 1^{re}. *Au lieu de*: à quatre roues, *lisez*: à quatre cylindres.
— 65. — *Au lieu de*: Stephens, *lisez*: Stephenson.
— 69. — 55. *Au lieu de*: convenait, *lisez*: convient.
— 70. — 24. *Au lieu de*: trains, *lisez*: tracés.
— 116. Devant le dernier alinéa, *lisez*: Suède.
— 155, ligne 16. *Au lieu de*: chemins à pentes maxima de 10 et 20 millimètres, *lisez*: 10 à 20.
— 156. Dernière ligne. *Au lieu de*: système Rumtorff, *lisez*: Rulmkorff.
— 191, ligne 25. *Au lieu de*: où de machines fort peu satisfaisantes, *lisez*: avec des machines.
— 254. Remplacer la note du bas de la page par celle-ci :

¹ La perte de pression d'après des expériences faites à Turin ne serait, avec de l'air à 6 atmosphères circulant dans des conduits de 0^m.20 de diamètre, que de 5 millimètres de mercure par kilomètre, correspondant à 21 millimètres pour les 7 kilomètres qu'auront les conduits partant du compresseur à chaque extrémité du tunnel.

PRÉFACE

DE LA PREMIÈRE ÉDITION

Il y a aujourd'hui vingt-cinq ans, nous publions avec M. Léon Coste un ouvrage intitulé : *Mémoire sur les chemins à ornières de fer*, l'un des premiers qui aient paru en France sur les chemins de fer. Un an plus tard, nous ouvrons à l'École centrale des arts et manufactures le premier cours qui ait été fait en France sur la construction et sur le matériel de ces nouvelles voies de communication; la même année enfin, nous écrivions dans un rapport à l'Association polytechnique les lignes suivantes :

« Parmi les grandes questions industrielles qui occupent aujourd'hui le public, aucune sans contredit n'est plus importante que celle des chemins de fer. Ce n'est pas une question purement industrielle; elle touche en même temps à nos intérêts moraux et à nos intérêts matériels. Elle offre un sujet de méditation de la plus haute importance à l'administrateur, au philosophe, aussi bien qu'à l'ingénieur et au commerçant, et qu'à l'homme de guerre... Les chemins de fer, par la prodigieuse célérité qu'ils établissent dans les communications, deviennent l'un des moyens les plus puissants de civi-

lisation, comme un des remparts les plus efficaces contre les agressions ennemies...

« Le transport des voyageurs et des marchandises précieuses sera l'objet principal des revenus des chemins de fer ; mais une grande partie des frais généraux, tels que frais d'administration, perception, entretien, qui ne varient pas proportionnellement à la circulation, pouvant être supportés par les voyageurs et les marchandises précieuses ou les objets manufacturés, ce qui n'arrive pas généralement avec les canaux, les chemins de fer pourront souvent, en abaissant leur tarif, lutter avec les canaux, même pour le transport des marchandises lourdes. »

Nos prédictions se sont réalisées. Le succès a dépassé nos espérances. Les chemins de fer sillonnent déjà, dans tous les sens, la plus grande partie de l'Europe et l'Amérique septentrionale ; l'Amérique centrale et méridionale, l'Asie, l'Afrique, l'Australie, ont leurs chemins de fer ; et bientôt ceux-ci, traversant des contrées presque inhabitées, iront propager la civilisation jusque dans les régions les plus éloignées.

Les convois de marchandises ne sont pas moins nombreux que ceux de voyageurs, et les chemins de fer ont enfanté le télégraphe électrique, instrument non moins merveilleux peut-être que le chemin de fer lui-même.

Déjà, de 1840 à 1842, nous avons publié avec M. Polonceau un ouvrage sur les chemins de fer intitulé : *Portefeuille de l'ingénieur*, qui ne s'adressait qu'aux hommes pratiques. Celui que nous livrons aujourd'hui à l'impression est moins spécial, et pourra être lu, du moins en grande partie, par un public plus nombreux, tout en fournissant des indications utiles aux hommes de l'art.

Tracer en peu de mots l'histoire des chemins de fer, esquisser l'art de les construire, tel est le but que nous nous sommes proposé dans cet ouvrage.

Les procédés suivis pour les établir sont si variés, les progrès qu'ils font chaque jour sont si rapides, que nous aurions reculé devant cette tâche difficile, si par notre position nous n'avions pu nous assurer facilement le concours des ingénieurs de toutes nos grandes lignes, et plus particulièrement celui des ingénieurs des chemins de fer de l'Est. C'est donc en quelque sorte leur ouvrage collectif que nous offrons aujourd'hui au public plus que le nôtre. Il serait trop long de les citer; mais nous devons des remerciements spéciaux à M. Gustave Bridel, ancien inspecteur du matériel du chemin de fer de l'Est, et ingénieur en second au palais de l'Industrie. Telle a été sa coopération à ce travail, qu'il aurait pu, s'il n'était aussi modeste que capable, revendiquer le droit de placer son nom avec le nôtre en tête de ce livre.

PRÉFACE

DE LA TROISIÈME ÉDITION

Nous nous sommes appliqué à rendre cette édition aussi complète que possible, nous avons scrupuleusement indiqué toutes les sources auxquelles nous avons puisé, nommé tous les auteurs dont nous avons consulté les ouvrages ou les mémoires et souvent reproduit l'opinion dans son entier. Nous aurions pu aisément ne nommer personne et donner des extraits dont on eût méconnu l'origine. C'est ce qui se fait fréquemment. Si nous avons procédé autrement, c'est que d'abord nous avons considéré comme un devoir de *rendre à César ce qui est à César*, et ensuite que nous avons cru augmenter l'autorité de nos citations en faisant connaître ceux auxquels nous les avons empruntées. On remarquera du reste que toutes les opinions ont été soumises par nous à un examen consciencieux et que nous avons généralement fait connaître ensuite la nôtre propre avec tous les égards, mais aussi avec toute la fermeté possible.

Si l'on parcourt la table de cet ouvrage composée de quatorze feuilles d'impression, on reconnaîtra que nous avons dû rassembler, pour composer ces quatre volumes, une infinité de

matériaux. Personne n'est mieux placé que nous pour obtenir d'obligeantes communications. Il n'est pas un ingénieur auquel nous nous soyons adressé, qui ne se soit mis avec empressement à notre disposition. Dans le nombre, nous citerons plus particulièrement MM. Vuillemin, ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer de l'Est ; Guillaume, ingénieur du matériel fixe au même chemin ; Forquenot, Gœury, Mercey, du chemin d'Orléans ; Nozo, du Nord ; Mathieu, du Midi, et tant d'autres qu'il serait trop long de nommer.

On ne saurait se faire une idée du travail que, malgré cela, la rédaction du traité a exigé. Ce n'est pas tout que de réunir des notes ; il faut les contrôler et le contrôle conduit trop souvent à constater des erreurs dans les notes communiquées ou des contradictions qu'il faut cependant expliquer.

Les constructeurs de chemins de fer arriveront sans doute, il faut l'espérer, à se mettre un jour d'accord. Pour le moment ils sont encore d'avis fort divergents.

On ne peut espérer parvenir à fixer des règles un peu certaines pour l'établissement des chemins de fer qu'en se rendant compte au moins par approximation des différentes résistances opposées au moteur dans tous les cas donnés et de la puissance développée par ce moteur selon sa forme et ses dimensions.

Ce sont là de grandes questions que l'on ne peut résoudre qu'à l'aide d'expériences multipliées. Nous avons entrepris ces expériences, mais le temps nous a fait défaut pour les continuer. Quels qu'en fussent l'utilité et le profit que nous en aurions retiré pour notre réputation, nous n'avons pas cru devoir leur sacrifier une œuvre plus grande à nos yeux, celle de répandre l'instruction dans les masses par les cours ou

les conférences de l'Association polytechnique et de la propager dans les hautes classes industrielles par l'enseignement de l'École centrale. Mais, pour contribuer néanmoins dans la mesure de nos forces aux progrès de l'art de construire les chemins de fer, nous avons fondé un prix de deux mille francs en faveur de l'auteur du meilleur mémoire sur ce grave sujet. On trouvera le programme des expériences à la fin du quatrième volume.

Un intervalle de quatre ans sépare la rédaction de notre premier volume de celle du quatrième. Aussi peut-on considérer ce dernier volume comme un appendice dans lequel nous avons relaté les progrès faits de 1861 à 1865.

Nous ne publierons plus de nouvelles éditions, puisque la science marche plus vite que notre plume, et nous ferons paraître chaque année un appendice pour tenir le lecteur au courant du progrès.

Nous serions ingrat si nous ne terminions cette préface de la troisième édition en répétant ce que nous avons dit à la fin de celle de la seconde, que nous avons toujours trouvé dans notre secrétaire, M. Jacquin, un aide actif et intelligent qui nous prête le concours le plus précieux.

PLAN DE L'OUVRAGE

Nous adopterons pour la rédaction de cet ouvrage le plan qui suit :

Après avoir établi la supériorité des chemins de fer sur les autres voies de communication artificielles, en avoir esquissé l'histoire dans les différents pays, et donné quelques notions générales sur leur mode de construction ainsi que sur les moteurs qui les desservent, nous suivrons méthodiquement, dans ses opérations, l'ingénieur appelé à construire un chemin de fer.

Ainsi, traitant d'abord du tracé, nous passerons en revue les considérations qui doivent guider dans le choix de la meilleure ligne, et nous indiquerons les règles qui conduisent à la détermination de cette ligne sur le terrain. Nous verrons ensuite comment les préceptes que nous aurons posés ont été appliqués sur les principaux chemins construits en France ou à l'étranger, et nous traiterons, dans un chapitre spécial intitulé : *Des frais de construction*, de la rédaction des devis.

Nous jetterons un coup d'œil rapide sur les méthodes les plus usitées dans les travaux de terrassements que nécessite l'établissement des chemins de fer, sur les conditions que doivent remplir les travaux d'art, et sur le mode de construc-

tion de la chaussée. Nous décrirons les différentes espèces de rails, coussinets, changements de voie, plaques tournantes, etc..., qui composent la voie proprement dite, et nous serons ainsi tout naturellement conduit à traiter de la disposition des gares ou stations où sont employés presque exclusivement ces changements de voie et plaques tournantes.

Après la description de la voie et des gares, viendra celle du matériel roulant, voitures et locomotives, ainsi que celle des machines fixes et des plans automoteurs. Nous développerons quelques considérations théoriques sur la résistance opposée par les véhicules à l'action des moteurs et sur le calcul de la puissance des locomotives. Nous ferons connaître les différents moyens proposés ou employés pour diminuer cette résistance (système Laignel, système Arnoux), et nous terminerons par une description succincte et critique des nouveaux moyens de locomotion tentés avec plus ou moins de succès jusqu'à ce jour (système atmosphérique anglais et français, système Jouffroy, système Andraud, système Pecqueur, système Chameroy, système Seguiet, système Erickson, etc.).

INTRODUCTION

On appelle grand le siècle de Louis XIV, ce siècle de douleur pour le peuple, d'abaissement pour la noblesse, d'immoralité et de fanatisme, de grands écrivains, de grands prédicateurs, mais aussi de vils courtisans; de grandes victoires, mais aussi de grands désastres : ce siècle qui produit Louvois et Colbert, mais qui produit aussi Chamillard. Que dira-t-on du dix-neuvième siècle, débutant par les triomphes du nouveau César, inaugurant une ère de progrès pacifique dont l'histoire des siècles précédents ne nous offre aucun exemple, signalé par des inventions tellement merveilleuses que l'imagination la plus ardente n'aurait pu les prévoir; abolissant l'esclavage, améliorant le sort de la classe la plus nombreuse, versant partout la lumière, l'instruction. Ce siècle ne méritera-t-il pas, bien plus que le siècle de Louis XIV, l'épithète de grand ?

Les chemins de fer, les bateaux à vapeur, la télégraphie électrique. Voilà, certes, de magnifiques instruments de progrès matériel, mais aussi de puissants leviers de progrès intellectuel.

Que l'on compare le monde au commencement de ce siècle à ce qu'il est devenu dans une période de soixante ans grâce à ces merveilleuses découvertes.

Il y a soixante ans, les peuples vivaient presque isolés les uns des autres, les relations étaient difficiles, les guerres fréquentes. D'immenses régions, entrées aujourd'hui dans la voie de la civilisation, étaient encore couvertes de ténèbres.

La vapeur et l'électricité, dans les mains de puissants génies, de Fulton, de Stephenson, d'Ampère, d'Ærsted, ont transformé notre globe; la guerre est devenue plus rare, moins sanglante. L'océan Atlantique qui semblait un immense obstacle à nos rapports avec l'Amérique, est franchi en quelques jours par les bateaux à vapeur. Nous avons été dotés d'un nouveau continent, l'Australie; l'Inde, bientôt, grâce aux chemins de fer, rivalisera par son industrie, son commerce, avec les centres les plus favorisés de l'Europe. La Chine a cessé de nous être fermée; l'Afrique, parcourue par de hardis pionniers, n'aura, dans quelques années, plus de secrets pour les géographes, et trente-cinq ans restent encore pour compléter le dix-neuvième siècle!...

Les bateaux à vapeur sillonnent nos lacs et nos rivières aussi bien que nos grandes mers. Ils ne servent pas seulement à développer le commerce, à faciliter les voyages d'agrément ou d'utilité: remontant le Niger, le Zambèze et les grands fleuves de la Chine, ils portent, avec les marchands, de savants explorateurs.

Le rôle des chemins de fer est plus important encore que celui des bateaux à vapeur. Il est bien peu de personnes qui s'en font une juste idée. Nous allons essayer de le leur faire connaître en énumérant les services de toute nature que les

chemins de fer rendent déjà ou qu'ils sont appelés à rendre dans l'avenir.

Ce qui, au premier abord frappe tout le monde, c'est surtout la révolution qu'ils ont opérée dans les moyens de transport pour les voyageurs.

Moyens de transport en usage pour les voyageurs avant l'ouverture des chemins de fer. — Il y a trente-cinq ans, lorsqu'aucune voie à vapeur encore n'existait en France, quels étaient les véhicules en usage? Dans quelques départements on se servait de *pataches*, voitures non suspendues, dans lesquelles on ne pouvait parcourir que de bien courtes distances, sous peine d'une fatigue excessive. De plus longs voyages s'effectuaient quelquefois dans des voitures, dont les conducteurs étaient connus sous le nom de *voiturins* (en italien *vetturini*). Elles portaient six voyageurs, marchaient presque toujours au pas ou au très-petit trot des chevaux. Partant de grand matin, se reposant au milieu de la journée, et ne s'arrêtant le soir que fort tard, elles parvenaient à accomplir un trajet d'environ quarante kilomètres par jour, en sorte que pour se rendre de Paris à Strasbourg on mettait un peu plus de douze jours, au lieu de dix heures et quart qu'exige le chemin de fer. C'était un mode de transport très-économique, mais dont l'usage naturellement devait être très-restreint.

Les *diligences*, au contraire, étaient d'un emploi presque général. Elles portaient quinze voyageurs, trois dans un *coupé*, placé sur le devant; six dans l'*intérieur*, espèce de berline formant le centre et six dans la *rotonde*, autre berline de plus petite dimension établie à l'arrière.

Les places de coupé étaient les plus chères mais aussi les moins incommodes, les plus agréables. D'un autre côté, la longueur du coupé étant forcément limitée, les hommes d'une

taille élevée y étaient fort gênés. Dans l'intérieur on étouffait; dans la rotonde on était inondé de poussière et très-serré.

C'eût été supportable pour de petits trajets, mais lorsqu'il fallait rester trois jours et trois nuits en route, ce qui arrivait quelquefois, parce que les diligences ne faisaient pas au delà de huit kilomètres par heure, on arrivait à destination abîmé de fatigue et il devenait nécessaire de prendre plusieurs jours de repos.

Les inconvénients que nous venons de signaler n'étaient pas les seuls que présentaient les diligences. Elles étaient fort recherchées malgré ces inconvénients, et à de certaines époques de l'année, au moment des vacances, par exemple, il fallait retenir sa place trois semaines d'avance aux extrémités de la ligne desservie, pour être certain de partir. Dans les villes intermédiaires c'était bien autre chose, on n'assurait des places qu'autant qu'il y en avait au moment du passage dans la ville.

Les *malles-postes* étaient plus coûteuses que les diligences, mais plus commodes et elles marchaient régulièrement à la vitesse de quatorze à seize kilomètres par heure. Leur principal défaut était qu'en tout temps on ne pouvait s'en servir qu'en retenant sa place un mois ou six semaines d'avance.

Les voyages en poste étaient fort dispendieux et n'étaient à la portée que des hommes riches. Encore se faisaient-ils dans les meilleures conditions? Non certainement, car, dans la belle saison, il arrivait fréquemment qu'aux relais on manquait de chevaux. Il fallait en aller chercher dans les champs, d'où on vous amenait souvent des chevaux fatigués ou rétifs, conduits par des valets de charrue, peu capables de les bien atteler et de les conduire.

Tels étaient les principaux moyens de voyager il y a trente-

cinq ans seulement. Si on remonte à des temps plus anciens, au dix-huitième siècle, par exemple, on les trouve bien plus lents, bien plus imparfaits encore.

Ne semble-t-il pas que les chemins de fer leur succédant devaient être accueillis avec enthousiasme? Loin de là cependant, comme on le reconnaîtra en parcourant le chapitre consacré à l'histoire des chemins de fer, on leur fit, en France surtout, un très-froid accueil.

Influence exercée sur le mouvement des voyageurs. — L'influence exercée sur le mouvement des voyageurs par les chemins de fer a été immense, elle a varié entre des limites fort écartées suivant les localités : là elle a décuplé ce mouvement ; ailleurs, elle l'a simplement doublé ; dans certaines localités, aux États-Unis, par exemple, elle l'a créé.

Le produit des voyageurs, bagages et messagerie, sur les routes de l'Est, avant l'ouverture du chemin de Strasbourg était, d'après M. Gillon, rapporteur du projet de loi présenté pour l'exécution de ce chemin, d'environ 6,000 francs par kilomètres. On admit qu'il doublerait, ou à peu près, par le fait de la voie ferrée, et on supposa qu'il serait de 12,525 fr. Il a été en réalité plus que quadruplé, car d'après des documents inédits, il a été en 1864, sur le seul chemin de Strasbourg, de 27,895 francs.

Trains de plaisir. — Les trains de plaisir à prix très-réduits ont rendu possible, pour une grande partie de la population, les déplacements à grande distance, qui contribuent autant à l'instruire qu'à le distraire.

La seule compagnie de l'Est, en 1864, n'en a pas fait moins de 42, dont 12 de Paris à différentes stations de la ligne, 15 de différentes stations vers Paris, 8 de différentes stations de la ligne à d'autres stations, 2 de Paris pour des pays étrangers

(Mayence, Einsiedeln, en Suisse), 5 de pays étrangers à Paris (Vienne, Mayence, Luxembourg), de différentes stations de la ligne à des stations en pays étrangers ou *vice versa* (Strasbourg à Mayence et Mayence à Strasbourg). Ces trains de plaisir n'ont pas transporté moins de 53,609 voyageurs, et produit moins de 409,000 francs.

L'action des chemins de fer sur le mouvement des voyageurs se manifeste surtout le dimanche et les jours de fête lorsque dans les grandes gares terminales, comme celle du chemin du Nord, les trains se succédant à de courts intervalles de temps, jettent dans certains moments de la journée des milliers de voyageurs sur le trottoir. Comment les autres moyens de transport auraient-ils pu suffire à un pareil mouvement.

Le bénéfice de la vitesse que procurent les transports par les chemins de fer sont immenses, surtout en ce qui concerne les hommes dont le temps a quelque valeur, et c'est le plus grand nombre.

Bénéfice de la vitesse pour les voyageurs. — Ainsi, en 1864, le nombre des voyageurs transportés à un kilomètre sur le réseau français a été d'environ trois milliards, ce qui représente 75,000,000 à 40 kilomètres. Le parcours de 40 kilomètres ayant lieu sur le chemin de fer en une heure, lorsqu'il exigeait quatre heures dans les diligences, les 75,000,000 ont économisé $3 \times 75,000,000 = 225,000,000$ d'heures. Admettons que l'heure de travail des voyageurs vaille en moyenne 50 centimes, ce qui n'a rien d'exagéré, l'économie en argent réalisée par les voyageurs de 1864 sera de 112,500,000 francs.

D'un autre côté, le prix moyen du transport d'un voyageur à un kilomètre, nourriture comprise, n'étant que de 7 1/2

centimes, lorsqu'il était dans les mêmes conditions de 12 centimes par les diligences¹, les trois milliards de voyageurs à un kilomètre ont fait un nouveau bénéfice de $3,000,000,000 \times 4,5 = 155,000,000$. Et l'économie totale produite par le chemin de fer sur le transport des voyageurs sera de $112,500,000 \text{ fr.} + 155,000,000 = 247,500,000$ francs.

Considérant à un autre point de vue les avantages de la vitesse, M. Michel Chevalier disait : « La vitesse des moyens de transport se trouvant quadruplée par l'emploi des moteurs à vapeur, supposons un pays sillonné en tous sens par les chemins de fer, l'effet produit par les moteurs nouveaux sur les relations des individus serait le même que si, les conditions de la locomotion n'étant pas modifiées, le territoire se fût

¹ De Paris à Strasbourg, le prix des places de coupé variait, suivant les saisons, de 75 à 85 fr.; des places d'intérieur, de 50 à 60 fr.; de banquette, de 50 à 60 en été, et de 40 à 50; en hiver de rotonde, de 40 à 50. Mais on faisait alors six repas au lieu d'un seul ou de deux que l'on fait avec le chemin de fer, ce qui constituait un accroissement de dépenses que nous estimons à 12 fr. pour les voyageurs de coupé et d'intérieur, et à 10 fr. pour ceux de la banquette et de la rotonde, en sorte que nous avons pour la moyenne du prix des places de coupé 95 fr., d'intérieur 70 fr., de banquette 60 fr., de rotonde 55 fr. Si l'on suppose une même longueur de 500 kilomètres environ pour la route comme pour le chemin de fer, on trouve pour la moyenne du prix des places de coupé, le voyageur étant transporté à un kilomètre, 19 centimes, d'intérieur 14 centimes, de banquette 12 centimes, et de rotonde 11 centimes. Sur les lignes autres que celle de Strasbourg, sauf les cas exceptionnels de concurrence, les prix étaient les mêmes.

Pour calculer la moyenne du prix payé à la fin de l'année par les voyageurs de quatre classes, il faudrait connaître le nombre de voyageurs de chaque classe. Ce dernier chiffre nous fait défaut, mais nous ne croyons pas beaucoup nous éloigner de la vérité en adoptant pour cette moyenne celui de 12 centimes.

La moyenne calculée pour l'année sur le chemin de fer de Strasbourg a été de 5 cent. 9, auquel il faut ajouter la valeur de deux repas en route au maximum soit 8 fr., soit 1 cent. 65 par kilom., et alors le prix moyen total comparable à celui de 12 centimes pour la route de terre est de 7 cent. 5. L'économie est donc d'environ 4 cent. 5 par voyageur.

concentré et resserré dans un espace seize fois moins grand¹. »

La supériorité des chemins de fer pour le transport des voyageurs étant bien établie on l'admit bientôt pour celui des marchandises à grande vitesse, confiées précédemment au roulage accéléré. Mais on contesta que la voie ferrée pût disputer aux voies navigables cette masse énorme d'objets de toute nature qui réclame l'économie plutôt que la rapidité. Aujourd'hui, cependant, nous voyons le chemin de fer soutenir souvent la lutte sans désavantage avec les rivières et les canaux, et le produit de la marchandise qui, en 1845, sur les lignes les plus favorisées, ne dépassait pas le tiers du produit des voyageurs², s'est considérablement accru.

Sur les chemins du Nord, de l'Est, de Lyon-Méditerranée, d'Orléans et du Midi, il a été en 1862 de 70 à 72 pour 100 du produit total, sur le chemin de l'Ouest de 64 pour 100.

Le produit des marchandises sur le chemin de Paris à Strasbourg n'était évalué par M. Gillon qu'à 12,000 fr. par kilomètre, comme celui des voyageurs ou à peu près, et encore se défendait-il du reproche d'exagération qu'on lui adressait. Il a dépassé les prévisions plus encore que celui des voyageurs, car il a été en 1864 de 58,959 fr.

Le spectacle des grandes gares de marchandises ne frappe pas moins l'imagination que celui des grandes gares de voyageurs. L'étendue de ces gares est la conséquence nécessaire

¹ Cela tient à ce que le rayon du cercle augmentant dans le rapport de 1 à 4, la surface s'accroît dans celui de 1 à 16.

² Rapport de M. Gillon à la Chambre des députés sur le projet de loi relatif à l'exécution du chemin de Paris à Strasbourg

de cet immense développement du trafic due à la voie de fer. Quel mouvement dans ces gares !... On ne manutentionne pas dans une journée, au chemin de l'Est (gare de la Villette), moins de 4057 tonnes de marchandises en moyenne, et de 4850 quand le service atteint un maximum d'activité. On ne déplace pas moins de 1514 wagons. La gare ne couvre pas moins de 25 hectares, et si on y ajoute la gare auxiliaire de Pantin 57 hectares, ce qui atteint presque la surface de l'ancien Paris au temps de Julien, et le développement des lignes auxiliaires n'est pas de moins de 57 kilomètres.

Le mouvement des marchandises n'est pas relativement moins considérable sur les différentes lignes françaises que sur celle de Strasbourg.

Le nombre de tonnes transportées à un kilomètre sur tout le réseau français, d'après des documents officiels, a été, en 1864, d'environ 4 milliards.

Nous admettons que sur le réseau entier, comme sur le chemin de l'Est, 5 milliards de tonnes, les chemins de fer n'existant pas, eussent appartenu à la navigation et 1 milliard au roulage ordinaire et accéléré, en supposant pour un moment qu'ils eussent pu effectuer de pareils transports.

Le prix moyen du transport des marchandises, surtout par la navigation, est très-variable.

D'après M. Teisserenc¹, avant l'ouverture des chemins de fer, il variait pour les marchandises de toutes classes de

¹ Nous extrayons d'un excellent ouvrage de M. Teisserenc, intitulé : *Études sur les voies de communication perfectionnées*, en 1847, les chiffres suivants :

Frais de transport, non compris ceux de chargement et déchargement, ainsi que ceux de camionnage, d'après les prix courants :

8 à 12 et même 14 centimes par tonne à un kilomètre, frais de chargement, déchargement et camionnage non compris,

1° Avant l'ouverture des chemins de fer concurrents.

Paris à Lyon ou Lyon à Paris suivant la nature de la marchandise, 7 à 10 centimes par tonne à 1 kilomètre.

	Marchandises de classes inférieures par tonne à 1 kil.		Marchandises de toutes classes.	
De Lyon à Strasbourg.	11 cent.	20	12 cent.	00
Lyon à Mulhouse.	11	40	12	00
Lyon à Besançon	10	00	10	50
Strasbourg à Mulhouse.	12	00	14	50
Strasbourg à Paris	6	15	8	20
Strasbourg à Marseille.	8	65	11	40
Lyon à Orléans.	7	15	10	20
Nevers à Orléans	6	15	8	25
Lyon à Avignon (descente).	5	20	8	50
Avignon à Lyon (remonte)	12	50	14	50
Toulouse à Cette suivant la nature de la marchandise	10	00	11	50

2° Après l'ouverture des chemins de fer concurrents :

	Marchandises de faible valeur.		Marchandises de toutes classes.	
Paris au Havre (descente).	4 cent.	35	6 cent.	15
Havre à Paris (remonte).	»	»	10	00
Paris à Rouen (descente).	4	00	6	00
Rouen à Paris (descente).	7	00	19	00

Lors de l'ouverture du chemin de Paris à Rouen et de Rouen au Havre, le tarif perçu fut de 16 centimes par tonne et par kilomètre. Il n'attaquait que le roulage, mais la compagnie ne tarda pas à l'abaisser, d'abord à 15 centimes, puis à 10 centimes pour lutter contre la navigation. Aujourd'hui, en 1864, elle l'a descendu encore.

Sur les canaux du Nord, il était, pour le transport du charbon, de 5 à 6 centimes par tonne à un kilomètre. La concurrence l'a abaissé à 2 1/3 ou 3 centimes.

On ne saurait, en présence de ces chiffres, considérer comme exagérée la réduction que nous avons admise de 5 centimes par tonne et par kilomètre. Elle est d'autant mieux motivée que parmi les marchandises que nous supposons enlevées par le chemin de fer à la navigation, et auxquelles nous appliquons cette rédu-

et pour les marchandises de peu de valeur, il descendait rarement au-dessous de 6 centimes.

Le prix moyen du transport des marchandises de toute nature, sur les chemins de fer, celles d'une faible valeur comprises, était, en 1864, de 6 à 6 1/2 centimes seulement, et pour les marchandises d'une faible valeur, il oscillait entre 2 1/2, 5 et 4 centimes, exception faite des très-courtes distances, pour lesquelles il était plus élevé.

C'est donc une évaluation modérée que celle d'une économie de 4 centimes sur l'ensemble par tonne de marchandises transportées à un kilomètre.

L'économie réalisée par les 5 milliards de tonnes est donc d'environ 120 millions.

L'économie sur le roulage n'est que 1/4 à 1/6, soit 1/5, soit 4 centimes par tonne à un kilomètre, puisque les transports par roulage coûtaient en moyenne de 15 à 20 centimes. Sur 1 milliard cela ferait 40 millions.

L'économie totale sur le transport des marchandises est ainsi de 120, plus 40 millions, soit 160 millions.

Mais la concurrence des chemins de fer ayant réduit la navigation à abaisser son tarif moyen d'environ 4 centimes par kilomètre, et le nombre total de tonnes transportées à un kilomètre par la navigation ayant été, en 1864, de 2,500,000, il est résulté du fait du chemin de fer une nouvelle écono-

tion de 4 centimes, il en est un nombre assez grand qui ont été plutôt enlevées à la route ordinaire. Tels sont les charbons de Sarrebruck à Metz, de Saint-Étienne à Rive-de-Gier, d'Alais à Beaucaire, etc. Avant l'ouverture des chemins de fer, on les transportaient, en très-petites quantités à la vérité, sur essieux à des prix de 15 à 20 centimes par tonne à 1 kilomètre. La réduction pour cette nature de marchandises pourrait donc être portée à 8 ou 10 centimes par tonne à 1 kilomètre au lieu de 4 centimes. C'est du reste cette réduction qui seule a pu déterminer un accroissement énorme dans la production de la houille.

mie de 92 millions. En sorte que nous avons pour l'économie résultant du service des voyageurs. 247 millions 1/2.

Pour l'économie du service des marchandises sur les chemins de fer. 160

Pour l'économie du service des marchandises sur les voies navigables. 92

Total des économies. 499 1/2

Soit environ. 500 millions.

Ce qui représente l'intérêt d'un capital d'environ 10 milliards.

Nous avons indiqué la moyenne du tarif des chemins de fer, du roulage et de la navigation. Le tarif des chemins de fer ne varie guères que pour baisser. Le cahier des charges ne permet de le relever que dans un délai d'une année, et il est bien rare que les Compagnies aient profité de la faculté qu'il leur accordait. Les tarifs du roulage et de la navigation, au contraire, s'élevaient quelquefois brusquement de beaucoup, et lorsque l'affluence des voyageurs ou l'accroissement du trafic sur les voies à vapeur produit la baisse parce que la puissance des moyens de transport leur est toujours proportionnée, c'est l'inverse qui se produisait sur les routes, les rivières et les canaux où le matériel et la force motrice ne se prêtaient pas à de subites augmentations.

Avec les chemins de fer, le commerce, l'industrie prennent chaque jour de nouveaux développements, tandis qu'avec les anciennes voies de communication, ils étaient forcément arrêtés dans leur essor.

Mais les chiffres qui précèdent ne donnent qu'une idée très-incomplète des avantages procurés au pays par la construc-

tion des chemins de fer; car il résulte de documents officiels que, depuis qu'ils ont été livrés à l'exploitation, la circulation sur les routes est restée à peu près stationnaire, et que le tonnage sur les voies navigables a augmenté plutôt que diminué.

Ainsi, en 1841, époque à laquelle il n'existait encore en France que 884 kilomètres de chemin de fer, le mouvement moyen journalier sur les routes était de 245 colliers en parcourant la longueur totale. En 1851, la longueur des chemins de fer exploités étant de 4952 kilomètres, les documents statistiques nous donnent un mouvement moyen journalier de 244 colliers. En 1858, 5727 nouveaux kilomètres de voies de fer ayant été livrés au public, ce mouvement reste à peu près constant ou plutôt il augmente faiblement, car il est de 246 colliers. En 1865 enfin, l'étendue du réseau des voies à vapeur ayant atteint 12,018 kilomètres, le mouvement sur les routes semble diminuer puisqu'il n'est plus que de 257 colliers. Mais si l'on considère que pour établir cette dernière moyenne on a tenu compte des routes stratégiques et des routes de Savoie peu fréquentées qui n'avaient pas figurées dans les premiers calculs, tandis qu'au contraire on a supprimé de l'ensemble les routes de la banlieue de Paris sur lesquelles la circulation est considérable, on s'explique la petite diminution que la moyenne a dû éprouver sans que pour cela le mouvement sur les anciennes routes ait fléchi.

Le surcroît de développement donné aux transports agricoles et industriels, et l'augmentation de circulation sur les routes qui alimentent le chemin de fer, a compensé la diminution provenant de la suppression du roulage et des entreprises de messagerie.

Sur les voies navigables, la circulation kilométrique est inférieure à ce qu'elle est sur les chemins de fer, ce qui n'empêche pas qu'elle ne soit supérieure à ce qu'elle était avant l'établissement des voies à vapeur. Ce fait a été mis en évidence par les cartes statistiques, si pleines d'intérêt, que publie chaque année M. Minard, inspecteur général des ponts et chaussées, en retraite.

Le mouvement sur les routes ordinaires et les voies navigables, ayant augmenté plutôt que diminué, le personnel qu'elles occupent, postillons, bateliers, etc., a donc conservé ses moyens d'existence et les chemins de fer n'ont fait que créer un nombre considérable d'emplois pour le reste de la population : ils ont ouvert de nouvelles sources de richesses, sans tarir celles qui existaient déjà.

Produits indirects. — Aux produits directs des chemins de fer il faudrait encore ajouter les produits indirects. Quelle immense population d'ouvriers et d'industriels, de camionneurs, d'aubergistes, d'agriculteurs, etc., en effet, ne vit pas à leurs dépens !... Ces produits indirects échappent à notre appréciation ; mais on en concevra aisément l'importance.

Dans un excellent mémoire, lu à la Société industrielle de Lausanne, M. Risler établissant, aussi bien que possible, par des chiffres, l'accroissement de richesse produit en Suisse par les chemins de fer, trouvait que ce pays retirait 20 pour 100 du capital engagé, tandis que les actionnaires n'obtenaient pas au delà de 2 et demi pour 100 de leurs capitaux¹ !...

¹ En Suisse, sur neuf compagnies, sept sont ruinées ou à peu près, ne donnent aucun revenu aux actionnaires et couvrent péniblement leurs frais d'exploitation et l'intérêt de leurs emprunts. Une seule Compagnie, celle du Nord-Est de la Suisse, paye 7 ou 8 pour 100 du capital d'actions. Une seconde, celle du Central, 6 pour 100.

Croira-t-on cependant que, dans certains cantons qui se piquent d'être civilisés, les Compagnies qui leur ont procuré cette immense richesse, loin d'être encouragées, sont traitées en ennemies !

« Le revenu des chemins de fer, disait Robert Stephenson, à la Société des ingénieurs civils en 1857, qui est de 500 millions de francs, est égal à la moitié du revenu du pays. Supposons que les chemins de fer cessent tout d'un coup de marcher, le transport d'une masse de marchandises et de voyageurs, égale à celle qui s'effectue par les chemins de fer, deviendrait certainement impossible.

Admettons cependant pour un moment qu'il pût avoir lieu par les routes ou les voies navigables ; il coûterait le triple de ce qu'il coûte par les railways, soit 1,500 millions de francs. L'économie, résultant pour le pays de l'établissement des chemins de fer, est donc d'environ un milliard, ce qui excède de 50 pour 100 environ l'intérêt de la dette nationale. Il serait plus fâcheux par conséquent, pour l'Angleterre, d'être privée de ses chemins de fer qu'il ne l'est d'avoir à supporter l'énorme charge que lui impose sa dette. »

Depuis que Stephenson prononçait ces paroles, le revenu des chemins de fer anglais s'est encore considérablement accru.

Influence des chemins de fer sur les différentes branches de l'activité humaine autres que le commerce et l'industrie. —

Les chemins de fer n'ont pas agi seulement sur le commerce et l'industrie ; ils ont exercé leur puissance sur toutes les branches de l'activité humaine, sur l'agriculture, sur l'exploitation des mines, sur la science, sur les arts, sur nos mœurs, sur nos habitudes, sur le bien-être des hommes, sur la politique, sur la civilisation, en général, à un degré dont

bien des personnes ne se rendent pas encore bien compte, même aujourd'hui.

Influence sur l'agriculture. — L'heureuse influence exercée sur l'agriculture a été fort habilement indiquée par M. Jacques Valserre (*Constitutionnel* du 25 novembre 1864). Nous ne pouvons mieux faire que de lui donner pour un moment la parole : « La cherté des transports, dit M. Valserre, est un grand obstacle aux progrès de l'agriculture dans quelques parties de la France, où le sol reste stérile faute d'engrais ; certaines Compagnies de chemin de fer, celles d'Orléans et de l'Est, ont compris qu'en réduisant leur tarif au minimum pour toutes les matières fertilisantes, engrais et amendements, elles contribueraient tout autant à l'augmentation de leur produit qu'à la prospérité du pays. Les résultats qu'elles ont obtenus prouvent qu'elles avaient bien calculé.

« La compagnie d'Orléans a réduit le transport des engrais en Sologne, au simple remboursement des frais de traction. De cette manière, Paris, la plus immense fabrique de fumier qui existe en France, peut déverser son trop-plein sur les sables déserts qui s'étendent entre Orléans et Bourges.

« Il y a plus : chargée par le gouvernement de transporter à prix réduits des marnes d'Orléans, et de les déposer dans les diverses stations qui sont échelonnées le long de la Sologne, la Compagnie s'est, en quelque sorte, faite marchande de marnes. Elle cède à crédit pour une année cet amendement précieux à tous les cultivateurs qui veulent en faire usage. De cette manière les engrais affluent en Sologne, et le principe calcaire dont elle a si grand besoin, ne lui fait pas défaut.

« Ces deux mesures, dont on ne saurait trop faire l'éloge, dispensent, en quelque sorte, les cultivateurs de ce triste pays

d'avoir recours à des établissements de crédit qui, d'ailleurs, n'existent point pour eux. La Sologne se couvre de riches moissons; son bétail se développe rapidement. Il arrive que sur ce surcroît de produit, le chemin de fer a vu son trafic s'accroître dans des proportions considérables. Aujourd'hui, les sacrifices qu'il s'est imposés sont trois à quatre fois couverts par les profits qu'il réalise. Voilà certes des administrateurs assez intelligents pour comprendre qu'avant de récolter il faut savoir semer.

« L'enquête faite par le gouvernement nous apprend que les mêmes faits se sont produits sur la ligne de l'Est. Cette ligne transporte jusqu'en Champagne les engrais dont Paris regorge. Elle contribue ainsi à l'assainissement de la capitale et à la fertilisation de la Champagne *pouilleuse*, ainsi nommée parce que jadis elle offrait l'aspect le plus misérable. Or ces terres à peu près stériles, lorsqu'on les couvre d'un fumier généreux, donnent de magnifiques récoltes. Grâce à l'initiative prise par quelques hommes de progrès, grâce surtout, à la compagnie de l'Est, la Champagne *pouilleuse* aura bientôt cessé d'exister. En échange de ces matières fertilisantes, livrées à bas prix, le chemin de fer reçoit des céréales, des laines, des bestiaux, des vins, des bois, qu'il transporte par grandes masses et qui sont pour lui la source d'un revenu considérable. Voilà des exemples que les autres Compagnies devraient imiter. Il n'en est presque pas une seule dont le réseau ne traverse de vastes étendues de terrains aujourd'hui déshérités, mais susceptibles de s'améliorer par les engrais et les amendements. Les Compagnies de Lyon-Méditerranée, de l'Ouest et du Midi auraient un immense intérêt à suivre la voie qui leur a été tracée par celles de l'Est et d'Orléans, et elles enrichiraient les actionnaires aussi bien que le pays. »

Ajoutons quelques lignes à cette démonstration si saisissante des services rendus à l'agriculture par les chemins de fer. Nous les empruntons aux rapports du directeur de l'exploitation du chemin de fer de l'Est.

Les chemins d'Orléans et de l'Est, indépendamment d'une quantité considérable d'amendements (plâtres, marnes, etc.), ont transporté, en 1864, à des prix excessivement réduits plus de 150,000 tonnes d'engrais.

C'est surtout dans la Sologne et dans la Champagne pouilleuse que ces engrais ont été transportés. Ils ont opéré une merveilleuse transformation de ces deux pays. Dans la Sologne, les habitants ne vivaient, il y a quelques années, que de sarrasin, de blé noir et de laitage ; ils ne mangeaient jamais de viande et ne buvaient jamais de vin ; en moisson, dit une enquête faite en 1859 par le gouvernement, ils ne buvaient que de l'eau corrompue dans les fossés. Une amélioration radicale s'est produite partout où le chemin d'Orléans a pu faire parvenir les marnes, et le froment a remplacé le seigle. La culture, en Sologne, si arriérée il y a quelques années, a déjà absorbé 226,000 tonnes de marnes vendues en grande partie à crédit aux cultivateurs.

La Champagne reçoit tous les engrais liquides que Paris peut lui expédier, la demande est supérieure à l'offre ; aussi voit-on d'abondantes récoltes surgir sur un sol où naguère paissaient les moutons.

Les avantages que la construction des chemins de fer ont assurés à notre pays en ce qui concerne les céréales sont également considérables, et leur influence s'est fait sentir à tous les points de vue.

Augmentation dans la production.

Égalisation des prix dans tout l'Empire.

Arrivée immédiatement et par toutes les frontières des grains étrangers en cas de déficit dans la récolte.

Facilité d'exportation en cas d'excédant dans la production.

Si l'on consulte l'enquête faite en 1859 par ordre du gouvernement, on y trouve que, de 1820 à 1840, lorsqu'il n'existait encore que quelques lignes de chemins de fers, la production n'atteint que deux fois 80 millions d'hectolitres, en 1832 et en 1840.

Pendant dix ans, de 1840 à 1850, les chemins de fer commencent à paraître, la production est de 82, 87, 88 et 97 millions d'hectolitres.

A partir de 1850 jusqu'en 1861, le réseau des chemins de fer s'accroît chaque année et dans les sept dernières années de cette période de quatorze années la production atteint 109, deux fois 110 et enfin 116 millions d'hectolitres.

L'égalisation des prix dans tout l'Empire est la conséquence du prix peu élevé des transports, car, malgré les assertions inexactes produites à la tribune du corps législatif, il résulte de documents incontestables que toutes les Compagnies ont étendu au transport des céréales les tarifs les plus bas; sur tous les réseaux on trouve appliqué à ce transport les taxes de 6, 5 et 4 centimes, souvent même celles de 5 centimes et de 2, 5, c'est-à-dire des taxes aussi faibles que celles appliquées au transport de la houille, dont la valeur est considérablement inférieure à celle des grains.

La culture du houblon, grâce aux facilités que procure le chemin de fer pour les transports de la bière, s'est développée dans une mesure plus grande encore que celle des céréales.

Ainsi, en 1850, le département du Bas-Rhin ne possédait

que 370 hectares de houblonnières, produisant 351,658 kil., valant 50 fr. les 50 kil., 551,658 fr.

En 1864, le même département possède 1,146 hectares de houblonnières, produisant 1,089,247 kil., valant 20 fr. les 50 kil., 4,556,988 fr.

La Compagnie de l'Est avait institué, il y a quelques années, un convoi spécial par semaine pour le transport de la bière de l'Alsace et de la Lorraine sur Paris; aujourd'hui elle en fait six.

Influence sur le transport du bétail et des viandes abattues. —

Le transport du bétail a pris sur toutes les grandes voies à vapeur un développement qui n'avait pas été prévu dans l'origine; et les questions qui se rattachent à ce mode de transport doivent être considérées comme ayant une influence considérable sur la solution du problème *de la viande à bon marché*.

En étendant chaque jour davantage le rayon d'approvisionnement des villes et des grands centres, les chemins de fer combattent la tendance au renchérissement produite par le développement de la consommation de la viande; non-seulement ils amènent directement sur les marchés des animaux qui peuvent être livrés immédiatement à la consommation; mais, par la facilité de déplacement qu'ils procurent, ils permettent aux propriétaires de bestiaux maigres de conduire leurs animaux dans des régions où l'engraissement peut s'obtenir à bon marché, et de transformer ainsi en animaux propres à l'alimentation des bêtes presque sans valeur autrefois. C'est ce que nous prouverons par des exemples.

Les chemins de fer ont également permis l'importation du bétail étranger sur une échelle considérable: importation qui n'a eu aucune des conséquences fâcheuses annoncées par les

partisans du système protecteur, et qui fournit à la consommation du pays une part importante.

Enfin, les chemins de fer ont donné naissance à un transport pour ainsi dire inconnu avant eux, celui des viandes abattues.

Les chemins de fer ont donc rendu déjà à notre pays de grands services dans la question de la viande à bon marché, et ils en rendront de bien plus grands encore quand on aura pris l'habitude de se servir *directement* des facilités qu'ils procurent, sans passer par des intermédiaires qui, souvent, bénéficient de différences considérables, perdues pour le producteur et le consommateur. Cette hésitation à faire soi-même ses affaires explique des anomalies qui se présentent fréquemment dans des localités très-rapprochées; et, sans elle, on n'expliquerait pas comment la différence entre le prix d'une même denrée sur deux marchés est souvent très-supérieure à la valeur du transport à payer pour aller d'un marché sur l'autre.

Ce n'est pas pour le transport de la viande ordinaire seulement que l'on fait usage du chemin de fer. Celui de la viande de choix (filets de bœuf) et du gibier s'opère également, en grandes quantités, sur le chemin de l'Est.

Donnons quelques chiffres à l'appui de nos assertions. En 1865, sur nos six grands réseaux, on n'a pas transporté moins de 4,145,287 têtes de bétail, dont 662,774 bœufs, vaches, taureaux; 1,350,277 veaux et porcs, etc.; 2,131,936 moutons.

C'est par des réductions de tarifs bien entendues que les Compagnies sont parvenues à obtenir ces transports.

Depuis quelques mois l'importation en France des moutons de Hongrie et de Moravie a lieu sur une grande échelle.

La gare de Strasbourg, dans l'intervalle compris entre le 1^{er} avril et le 1^{er} octobre 1864, a reçu 59,504 moutons en provenance de Pesth, de Belgrade et de divers autres points de la Moravie et de la Serbie, destinés uniquement au marché de Poissy.

Ces animaux sont amenés à Kehl par le chemin de fer; ils font à pied le trajet entre Kehl et Strasbourg, et arrivent dans cette gare par bandes de 1,500 à 1,800 têtes. Certaines expéditions se sont élevées à 5,600 têtes.

La compagnie de l'Est a fait jusqu'à ce jour de grands efforts pour effectuer également, en s'associant aux chemins allemands, le transport des bœufs de Hongrie. Ce ne serait pas alors seulement les bœufs en bon état qu'on enlèverait de la Hongrie et des pays avoisinants, mais aussi en grande quantité des bestiaux maigres. Ces bestiaux maigres feraient un séjour de quelques mois dans le Wurtemberg, où il existe de nombreuses fabriques de sucre de betteraves dont les pulpes conviennent à leur engraissement, puis seraient dirigés sur les marchés français. L'exportation s'effectuerait ainsi en deux étapes.

Les projets de la compagnie de l'Est, paralysés dans leur exécution par différentes causes, n'ont pu encore se réaliser d'une manière satisfaisante; mais on ne saurait douter de leur succès dans l'avenir.

Le chemin de fer de l'Est présente déjà un exemple de ces transports effectués sur le territoire français. Les bœufs de la partie nord de la Franche-Comté se dirigent maintenant sur le Nord de la France, par Chaumont, Reims, Laon, etc. Après quelques mois d'engraissement, ils contribuent, pour une part digne d'être notée, à l'alimentation des populations du Nord et du Pas-de-Calais.

Commencé en 1861, ce mouvement a donné les résultats suivants :

Années.	Nombre.	Recette de la Compagnie.
1861	4,410	57,704
1862	5,432	75,445
1863	5,827	78,512

Un mouvement semblable s'effectue de la Bourgogne sur les départements de Seine-et-Marne et de Seine-et-Oise qui, il y a quelques années, n'employaient pas un bœuf à la culture, et en emploient aujourd'hui un assez grand nombre.

Le commerce des viandes de luxe se développe d'une manière notable sur le réseau de l'Est; les gares de Strasbourg et de Bâle remettent, chaque jour, aux trains rapides 2,000 à 2,500 kilogrammes de filets de bœuf, provenant du grand-duché de Bade et de la Suisse allemande.

La quantité de ces filets de bœuf transportés par le chemin de l'Est, n'ayant été, en 1863, que de 602,615 kilogrammes, s'est élevée, en 1864, à 738,050 kilogrammes.

Quant au transport du gibier, il a pris sur les mêmes lignes une importance exceptionnelle. A l'époque des transports de gibier, les gares de Strasbourg, Wissembourg et Forbach reçoivent des quantités considérables de chevreuils et de lièvres, tués soit dans les îles du Rhin, soit dans les plaines boisées de la Hesse et du Palatinat.

Pendant l'hiver de 1863-64, les expéditions reçues par ces trois gares se sont élevées à 1,200,000 kilogrammes.

Elles se sont élevées, dans certains jours, jusqu'à 6,000 lièvres, pesant ensemble 20,000 kilogrammes, et 500 chevreuils, pesant 10,000 kilogrammes.

Ce commerce doit se développer encore.

Transport du plâtre pour la construction. — Le plâtre trans-

porté par le chemin de fer de l'Est ne sert pas seulement comme amendement, il sert encore comme matière première pour la construction. On sait combien, sous ce dernier rapport, le plâtre de Paris est supérieur à celui des autres localités.

Transport de fruits rouges. — Les chemins de fer portent au loin certains produits agricoles, qui, avant qu'ils ne fussent établis, ne pouvant être consommés sur place, ou supporter les frais de transport à une certaine distance par les routes ordinaires, perdaient toute leur valeur. En été, les chemins de fer de l'Est transportent des milliers de quintaux de fruits rouges, dont la plus grande partie est consommée en Angleterre. Il n'est pas rare qu'ils transportent jusqu'à 70,000 à 80,000 kilogr. en un seul jour.

Les produits du Midi et de l'Algérie rivalisent sur nos marchés avec ceux de nos environs.

Transformation des Landes de Gascogne par les chemins de fer. — Les landes de Gascogne, naguère presque désertes, sont devenues, grâce aux chemins de fer, un pays très-prospère. MM. Pereire y ont acheté 1,400 hectares de terrains stériles et les ont rendus productifs en y semant des pins. Puis ils ont bâti des établissements utiles et jusqu'à de petits villages, église et maison d'école comprises.

C'est au chemin de fer que la petite ville d'Arcachon doit l'existence. Il y a quelques années ce n'était qu'un petit bourg habité par de misérables pêcheurs. Aujourd'hui c'est un lieu de plaisance, où les riches Bordelais se sont construits des habitations d'été, et où, des pays les plus éloignés, l'on vient chercher la santé.

Grâce à l'union de la pisciculture et du chemin de fer, on y produit chaque année 16 millions d'huîtres dont le com-

merce fait vivre une nombreuse population dans l'aisance, population énergique et intelligente où se recruterait au besoin, en cas de guerre, d'habiles matelots pour notre flotte¹.

La marée peut atteindre, dans toute sa fraîcheur, des points éloignés du littoral où elle était inconnue, il y a quelques années.

Influence des chemins de fer sur l'exploitation des mines de charbon. — Des mines, dont on n'avait pu jusqu'alors tirer presque aucun parti, sont par leur secours, exploitées sur une grande échelle. C'est aux chemins de fer que les riches bassins houillers de Newcastle, de Saint-Étienne, de Sarrebruck, d'Alais, etc., doivent leur prospérité. Sans chemins de fer ils n'auraient pu donner que de faibles produits². Des contrées privées du combustible minéral s'en trouvent ainsi pourvues, et aux succès de l'exploitation des mines ont correspondu ceux de l'industrie.

Services rendus à la science par les chemins de fer. — Les savants seraient ingrats, s'ils n'étaient pas reconnaissants à l'égard des chemins de fer.

L'instruction primaire, qui est le premier pas fait vers une science plus élevée, devra beaucoup aux chemins de fer.

Les écoles, grâce aux communications rapides, sont à la portée de tous; il n'est plus nécessaire de les multiplier à grands frais. Un maître habile, et ils sont rares, peut étendre son influence au loin.

Déjà, quelques-uns de nos professeurs de Paris ont porté

¹ D'après M. Fraiche, professeur à l'Association polytechnique (*Guide pratique de l'ostriculture*), 112 concessionnaires, associés à des marins inscrits, exploitent pour l'ostriculture, dans le bassin d'Arcachon, 400 hectares de terrains émergents que leur a livrés l'administration. Le revenu de cette exploitation est de 12 à 15 millions.

² Voir 1^{er} volume, page 6.

la science dans les départements en s'y transportant, pour y faire des conférences sur des sujets variés. Ce mode de diffusion des lumières, déjà en honneur depuis longtemps en Angleterre, aux États-Unis, en Allemagne, en Belgique et en Suisse, importée en France dès 1860, par l'association polytechnique¹, a obtenu un grand succès. Ce succès il le doit surtout aux chemins de fer. Il eût été bien difficile, si ce n'est impossible, sans les chemins de fer; et se plaçant à un autre point de vue, on peut dire, qu'avant la construction des chemins de fer, il en est beaucoup qui, vivant dans un petit cercle où ils brillaient par leur savoir, se sont aperçus, en étendant le cercle de leurs relations par les voyages, qu'ils étaient moins habiles qu'ils ne le croyaient. Faut-il chercher ailleurs l'explication de ce mouvement d'idées qui se produit aujourd'hui, et ce désir ardent d'instruction qui attire la foule partout où on ouvre des cours ou des conférences ?

Le savant géologue Élie de Beaumont, quand il n'existait pas de chemins de fer, ne conduisait guère ses élèves au-delà des limites du terrain tertiaire parisien. Aujourd'hui, il n'hésite pas à les mener jusque dans les Vosges étudier, chemin faisant, la série des terrains intercalés entre les couches tertiaires et le grès des Vosges.

Le professeur de botanique de la Faculté des sciences a pu, grâce à une réduction considérable de tarif, consenti

¹ Dès 1848, le fils de l'illustre Carnot, alors ministre de l'instruction publique, essaya d'instituer des conférences publiques et gratuites. Cette pensée lui fait honneur; mais les préoccupations politiques du moment s'opposèrent à son développement. Elle ne pouvait fructifier que dans des temps plus calmes.

libéralement par la compagnie Lyon-Méditerranée, aller herboriser avec son auditoire à Montpellier.

Les sociétés savantes qui vivaient jadis isolées peuvent, sous l'impulsion donnée par M. de Caumont, se réunir facilement, à l'aide des chemins de fer, une fois au moins chaque année en congrès pour discuter les questions les plus graves. Autrefois on ne connaissait que les congrès de souverains.

Depuis peu de temps, les économistes, les médecins, etc., se réunissent aussi en congrès. C'est ainsi que les hommes de différentes origines et de différents pays se rapprochent.

La compagnie des chemins de fer de l'Est ne s'est pas contentée d'accorder de notables réductions à ces groupes d'élèves dont nous parlions tout à l'heure, qui, sous la direction de leur professeur, vont au loin chercher des applications de leurs savantes leçons. Elle a consenti un abaissement de tarif permanent en faveur des jeunes gens qui viennent de 100 kilomètres à la ronde suivre les cours des facultés de Nancy et de Strasbourg. Ainsi élargissant l'horizon matériel, les chemins de fer étendent l'horizon intellectuel. Le champ de nos conceptions s'agrandit avec le cercle de nos relations.

Progrès de l'art des constructions dus aux chemins de fer.—

Quel est l'ingénieur qui contesterait les immenses progrès dont l'établissement des chemins de fer est devenu l'origine. Au commencement de ce siècle, il ne fallait pas moins de sept ans pour construire un pont du genre de ceux établis à Paris sur la Seine. Aujourd'hui, on termine aisément un pareil ouvrage en une seule campagne, on se joue avec des difficultés qui auraient paru, il y a trente ans, insurmontables. Des ponts en fer d'une nouvelle espèce sont jetés hardiment sur des bras de mer, sur de grandes vallées avec des travées d'une portée énorme et des débouchés de hauteur constante.

On ne craint pas enfin de construire des piles au milieu des courants les plus rapides, dans des terrains mouvants, à de grandes profondeurs. Il fallait les exigences des chemins de fer pour conduire à l'exécution de ces gigantesques travaux.

Les architectes, aussi bien que les ingénieurs, ont eu un rôle important à jouer dans la construction des chemins de fer. Les bâtiments des grandes gares ont été pour eux l'objet d'études sérieuses ; ceux des gares extrêmes sont de véritables monuments, rivalisant parfois, pour la décoration, avec nos théâtres et nos églises, mais s'en distinguant par un caractère particulier.

Indirectement les chemins de fer ont provoqué l'exécution de grands travaux d'architecture. N'est-ce pas, en effet, ce mouvement imprévu qui s'est développé dans leur voisinage qui a rendu nécessaire l'ouverture de ces rues magnifiques, de ces grands boulevards bordés de superbes hôtels ? La merveilleuse transformation de Paris qui s'effectue sous le règne de Napoléon III était une conséquence forcée de l'ouverture des chemins de fer.

Ajoutons que les chemins de fer qui nécessitaient ces constructions rapides ont en même temps fourni les moyens d'exécution qui autrement auraient fait défaut. Où aurait-on en effet trouvé les immenses chantiers qui fussent devenus nécessaires si le chemin de fer n'eût apporté chaque jour, pour ainsi dire, les matériaux tout façonnés de distances considérables. Des montagnes de pierre se sont déplacées sous l'action de la vapeur pour parcourir des milliers de kilomètres. Le Palais de l'Industrie a été construit tout entier avec des pierres dont une partie provenait de carrières situées dans les Vosges, à plus de 450 kilomètres de Paris, et à une autre partie des carrières de Commercy, à 295 kilomètres.

On se préoccupe des moyens d'utiliser dans l'avenir les milliers d'ouvriers amenés à Paris pour accomplir le programme tracé par le préfet et le conseil municipal ; nous croyons que c'est à tort parce que le mouvement imprimé aux travaux continuera comme le mouvement sur le chemin, et le mouvement sur le chemin de fer s'accroît chaque jour dans des proportions imprévues, de cette façon que dans 10, 15 ou 20 ans les boulevards et les rues ouverts aujourd'hui pour répondre à ce mouvement ne suffiront plus, et qu'il faudra ouvrir de nouvelles voies de communication ou élargir les anciennes.

Le goût, en matière d'architecture a bien décliné, dira-t-on peut-être, depuis que l'on construit des chemins de fer. Serait-ce que l'industrie tue l'imagination? Nous en serions douloureusement affectés, mais nous ne le pensons pas ; nous croyons que ce fait tient à d'autres causes.

Influence des chemins de fer sur la propagation du chant populaire. — Les sociétés de chants populaires, sous le nom d'Orphéons, se sont multipliées à l'infini depuis vingt-cinq ou trente ans. Le goût de la bonne musique s'est répandu. Ne doit-on pas attribuer une bonne partie de ce résultat aux chemins de fer qui rendent si faciles les réunions de ces sociétés et permettent aux maîtres de propager les bonnes méthodes.

Influence des chemins de fer sur l'art militaire. — Les chemins de fer ont modifié profondément l'art militaire. On a pu croire un moment qu'aidant à la concentration rapide des armées ils pourraient abrégé la guerre ; mais la lutte qui pendant quatre ans a ensanglanté l'Amérique septentrionale, paraît donner un démenti à cette opinion. Ce que l'on peut seulement affirmer, c'est qu'ils seront d'un plus grand secours aux peuples qui se défendent qu'à ceux qui attaquent. (Voyez pages 27 et 51 du 1^{er} vol.)

Influence des chemins de fer sur les mœurs, les habitudes. —

Les chemins de fer, avons-nous dit, ont exercé une heureuse action sur les mœurs, les habitudes. Cette action, que beaucoup peut-être nieront, est plus grande qu'on ne le suppose généralement.

Qui ne se rappelle cette population de postillons ivrognes et débauchés, de conducteurs insolents, d'aubergistes voleurs qui prospéraient sous le régime des diligences. Elle a été remplacée par une autre que nous sommes loin de considérer comme parfaite, mais qui, certainement, est supérieure. Soumettant leurs nombreux employés à des habitudes d'ordre, d'obéissance, de politesse et d'exactitude, les Compagnies ont moralisé en enrichissant.

Ces ingénieuses combinaisons, qui ont pour objet de réduire la dépense de l'ouvrier, de lui procurer à bas prix la nourriture et le vêtement, de l'attacher à sa famille et à ses chefs, n'est-ce pas un ingénieur de bien regrettable mémoire, M. Camille Polonceau, qui, le premier, en a fait l'application dans les ateliers de la compagnie d'Orléans? Toutes les Compagnies, celle de l'Est surtout, n'ont-elles pas institué des caisses de secours et de retraite, qui présentent à leur personnel des avantages bien supérieurs à ceux que l'État offre à ses employés, et ne se sont-elles pas attaché ainsi ce personnel de travailleurs?

Influence politique des chemins de fer. — L'influence politique des chemins de fer est immense.

Le pont du Rhin et le tunnel du mont Cenis cimenteront l'alliance entre l'Allemagne ou l'Italie et la France mieux que les traités les plus habilement rédigés.

Les voyages fréquents entrepris par les souverains dans toutes les parties de leurs États les éclaireront bien davantage

sur les besoins des populations que les rapports de leurs agents.

La réforme postale a été un grand progrès. Elle eût été impraticable sans les chemins de fer. Les anciennes voitures n'auraient pu suffire au mouvement immense qu'elle a créé.

L'émigration, qui, pour certains pays, est devenue une nécessité et qui contribue incontestablement à la prospérité de nos colonies, a été singulièrement favorisée par les chemins de fer. La seule Compagnie de l'Est a transporté à des prix extrêmement modiques, de 1852 à 1864, 250 000 émigrés. Elle en eût transporté davantage sans la guerre d'Amérique.

Ce sont les Compagnies de chemin de fer qui certainement, en imprimant aux capitaux le mouvement comme elles l'ont imprimé aux hommes et aux marchandises, ont provoqué la création de ces grandes compagnies industrielles accomplissant des travaux de toute nature vraiment merveilleux, non pas seulement en France, mais dans le monde entier ; ce sont elles qui ont créé, développé l'esprit d'association, qui ont fait naître la spéculation, dont l'excès a sans doute ses dangers, mais auxquels nous devons cependant nos plus grandes entreprises d'utilité publique¹.

¹ On s'est élevé contre l'agiotage auquel a donné lieu la multiplication des valeurs mobilières, et avec raison ; mais il ne faut pas confondre l'agiotage, qui est l'abus du jeu, avec le jeu lui-même. Le jeu est la conséquence inévitable de la spéculation sur les valeurs mobilières, et on ne saurait se dissimuler que sans le jeu, sans la spéculation, le placement de ces valeurs deviendrait bien difficile, si ce n'est impossible. Beaucoup ne s'en chargent que dans l'espoir de s'en débarrasser avec bénéfice, espoir trop souvent déçu. Les condamner à les vendre au comptant, comme on vend les obligations, c'est les en dégoûter en les privant du moyen de les écouler. Aussi voyons-nous les obligations rester au-dessous de leur valeur réelle, quand la rente, qui ne vaut pas mieux, vendue à terme, se place à un prix supérieur. Il y a quarante ans environ, mon père étant agent de change fut condamné à une perte considérable pour avoir prêté son ministère à des opé-

Rareté des accidents sur les chemins de fer. — Il n'est pas rare d'entendre dire que les voyages en chemin de fer sont très-dangereux. Il résulte cependant de documents statistiques incontestables que, eu égard au nombre des voyageurs, le nombre des accidents dont ils sont victimes est infiniment moins grand qu'il ne l'était avec les anciens moyens de transport. En Allemagne, en Belgique, bien qu'une partie des chemins de fer soient à une seule voie, il est presque nul; en France, il est très-faible. Sur le réseau de l'Est, dans un laps de temps de 5 ans, de 1859 à 1864, la longueur des voies exploitées étant de 1500 à 2000 kilomètres, pas un seul voyageur n'a été tué du fait de la Compagnie, et 6 ont été blessés grièvement, tandis que dans les rues de Paris on compte par jour, du fait des omnibus, 5 accidents entraînant la mort ou des blessures graves.

Sur le chemin de Vincennes, livré depuis six années à l'exploitation, bien que la circulation y soit plus active que sur aucune autre ligne, puisqu'elle a atteint le chiffre énorme de 70 000 voyageurs dans une seule journée, il n'y a pas eu un seul voyageur de tué par suite d'un accident imputable au service!...

rations à terme *tolérées* jusqu'alors. Est-il résulté de cette condamnation le moindre ralentissement dans les opérations de cette nature? Loin de là, elles se sont multipliées et se font aujourd'hui sur une immense échelle; c'est qu'elles sont dans la nature des choses; c'est que le gouvernement qui viendrait à les prohiber d'une manière absolue rendrait le placement de ses emprunts à des conditions favorables à peu près impossibles. Il y a de ces mesures inévitables.

La spéculation à *crédit* a lieu d'ailleurs dans de larges proportions sur toute sorte de valeurs, telles que les huiles, les graisses, etc., sans qu'on songe à y mettre obstacle. Pourquoi donc l'empêcherait-on sur les valeurs mobilières.

Ce qui nous paraît plus fâcheux que les marchés à terme, et ce qui est cependant beaucoup plus facile à réprimer, ce sont toutes ces loteries autorisées sous prétexte d'œuvre de bienfaisance; ce sont aussi les émissions de valeurs avec lots distribués par voie de tirage.

Comment donc s'expliquer ces reproches de négligence adressés aux administrateurs de nos grandes lignes par quelques écrivains? Plus que qui que ce soit, les administrateurs de chemins de fer sont intéressés à éviter les accidents, car le moindre sinistre coûte toujours fort cher aux Compagnies, et les administrateurs, directeurs ou ingénieurs, appelés par leurs fonctions à voyager plus que le commun du public, sont aussi plus exposés. Ajoutons qu'à l'intérêt de bien faire ils joignent la capacité, car directeurs et ingénieurs sont généralement des hommes d'une grande expérience, bien autrement en état d'apprécier les moyens de prévenir les accidents que ceux qui prétendent les juger.

Quiconque sait, comme nous, toute la complication du service d'une grande ligne de chemin de fer, quiconque s'est rendu compte des chances nombreuses d'accidents auxquelles les trains sont exposés, loin d'accuser les Compagnies de négligence, sera émerveillé de leur habileté.

Pour donner une idée de la complication du service, nous dirons que le nombre de trains de voyageurs ou de marchandises, circulant chaque jour de 24 heures sur le réseau français de l'Est (Vincennes non compris), atteint dans la semaine 692, et les dimanches ou fêtes 704; sur le chemin de Vincennes il est habituellement de 66 et s'est élevé jusqu'à 110. Sur le chemin de l'Ouest, il arrive jusqu'à 400 trains en 24 heures dans la gare Saint-Lazare. Au chemin du Nord, le mouvement est le dimanche de 89 trains partant et 89 trains arrivant.

Le nombre des expéditions de bagages et articles de messageries est par jour de 9454, celui des expéditions par la petite vitesse de 7250.

Le nombre des colis en grande vitesse manutentionnés

chaque jour est de 40,000. Celui des colis en petite vitesse est d'environ 120,000, en sorte que le nombre total de colis manutentionnés chaque jour atteint 160,000 !...

Traité de commerce et exposition internationale impossible sans les chemins de fer. — Les traités de commerce et les grandes expositions internationales, destinés à exercer une si grande influence sur l'avenir des peuples, ont été enfantés par les chemins de fer, sans lesquels l'accomplissement en eût présenté des difficultés insurmontables.

Les chemins de fer feront tomber successivement toutes les barrières posées entre les peuples par les douanes, non en ruinant les industries protégées par les droits, mais en leur fournissant les moyens de lutter contre l'industrie étrangère.

Les chemins de fer révolutionnant le monde sans secousses. — Les discours des orateurs ne produisent ordinairement qu'un effet momentané. On les écoute, on les admire et on les oublie.

Les instruments de civilisation tels que les chemins de fer et l'enseignement agissent plus lentement, mais bien plus sûrement. Ils révolutionnent le monde tout aussi bien et mieux encore que la parole et la presse, et au moins ils le révolutionnent sans secousses.

Les ingénieurs, les instituteurs ne jettent pas un si vif éclat que les avocats ou les écrivains, mais ils n'en contribuent pas moins au progrès; nous croyons même qu'ils y contribuent davantage. Georges Stephenson et Fulton n'ont pas rendu moins de services à l'humanité que Voltaire et Rousseau, et au moins personne ne conteste-t-il ces services; tandis que Voltaire et Rousseau ont encore de nombreux adversaires.

Mauvais accueil fait aux chemins de fer dans l'origine. — Nous avons dit que, malgré ces grandes qualités du chemin

de fer, il fut d'abord mal accueilli, non pas seulement par un public ignorant et prévenu, mais encore par les plus grands savants du pays, par les hommes d'État les plus distingués. C'est ce que nous avons suffisamment démontré dans notre chapitre sur l'histoire des chemins de fer dans le 1^{er} volume. Nous avons assisté au début des voies à locomotives, nous avons pris part à la lutte qui s'est engagée pour les faire triompher, nous avons donc qualité pour raconter cette lutte. Mais il y a heureusement loin maintenant du jour où, commençant notre cours sur les chemins de fer, à l'École centrale, nous fûmes traité d'insensé, à celui où inaugurant les conférences de l'École de médecine par quelques considérations sur les voies à vapeur, nous étions religieusement et sympathiquement écouté par un nombreux auditoire, du jour où, lorsque nous ouvrîmes le chemin de Versailles, on nous jeta des pierres à notre entrée dans la gare de Versailles, à celui où, livrant la voie ferrée de Strasbourg à Kehl à la circulation, nous étions l'objet d'une réception princière.

Reconnaissance due aux hommes qui ont doté leur pays de chemins de fer. — Aujourd'hui, en présence des magnifiques résultats dus aux chemins de fer, le pays, sans doute, devrait se montrer reconnaissant envers ceux qui l'ont doté, malgré l'opposition des incrédules, d'un si magnifique instrument de prospérité.

Que de reproches, mal fondés cependant, n'adresse-t-on pas aux Compagnies qui, dit-on, abusent du monopole qui leur est concédé ! Que d'attaques ne dirige-t-on pas contre les administrateurs, *gorgés d'or*, se souciant peu du public s'ils réalisent de gros dividendes.

Reproches mal fondés adressés au service des chemins de

fer en France. — Le service des chemins de fer se fait en France dans les meilleures conditions. Les accidents y sont plus rares qu'en Angleterre. Les voitures y sont plus spacieuses, plus commodes. Les tarifs pour les marchandises y sont plus faibles et chaque jour on les abaisse¹. On ne saurait se faire une idée des difficultés de toute nature que les créateurs de ces nouvelles voies de communication ont eu à surmonter, des luttes qu'ils ont eu à soutenir. N'importe; la jalousie et l'intérêt privé ne raisonnent pas. — Plusieurs Compagnies ne serviraient aucun dividende ou n'en payeraient que de très-faibles à leurs actionnaires, si le gouvernement ne leur venait en aide. Ces sacrifices ne suffisent pas. Le commerce et l'industrie ne seront satisfaits qu'autant que l'usage des chemins de fer sera gratuit comme celui des routes. — N'est-ce pas se montrer trop exigeant!

Différence de vitesse entre les chemins de fer français et anglais en ce qui concerne le transport des voyageurs. Motifs de cette différence. — On a reproché aux chemins de fer français de transporter les voyageurs, et les marchandises surtout, à une vitesse moindre que les chemins anglais.

Le fait est incontestable, et la différence de vitesse dans le transport des marchandises est considérable.

On a constaté également que pour le transport à de petites distances le chemin de fer n'offrait aucun avantage sur le roulage accéléré.

La différence de vitesse *effective* sur les chemins français pour les voyageurs tient au grand nombre de points d'arrêt des trains, à la charge supérieure des convois et quelquefois

¹ Au chemin de fer de l'Est, le prix moyen des transports pour les marchandises était en 1859 de 8 cent. 10 par tonne à un kilomètre, était descendu en 1862 à 7 cent. 10, et en 1864 il n'était plus que de 5 cent. 90.

à une plus grande roideur des pentes. On a augmenté sensiblement la vitesse, dans ces derniers temps, en diminuant autant que possible le nombre et la longueur des stationnements; on pourrait encore l'augmenter en diminuant la charge des convois; mais on serait alors forcé d'augmenter aussi le prix des places, et sur certaines lignes, surtout comme celles de l'Est, les besoins du service ne motiveraient pas cet accroissement.

Rapidité du transport des marchandises moindre en France qu'en Angleterre. Motifs de cette différence. — Pour ce qui est du transport des marchandises, le défaut de rapidité en France tient à différentes causes qui ont été parfaitement énumérées dans un rapport fait à Son Excellence le ministre des travaux publics par M. Moussette, commissaire du gouvernement sur l'exploitation des chemins de fer anglais¹.

Les causes se résument, d'après M. Moussette, de la manière suivante :

1° Les tarifs anglais sont considérablement plus élevés que ceux des chemins de fer français pour les marchandises de classes. Ainsi, en prenant le trafic des marchandises de classes et *des parcels* ou petits colis, de petite vitesse dans son ensemble, pour toutes les lignes anglaises, on arrive à ce résultat : que le tarif moyen perçu est d'au moins 12 centimes par tonne et par kilomètre. Sur le réseau du Great Northorn, ce tarif moyen est de près de 16 centimes. Or, on sait que sur les lignes françaises la moyenne des prix perçus pour les marchandises de cette catégorie varie entre 7 et 9 centimes au plus.

¹ Commission d'enquête sur les chemins de fer : Rapport de MM. Law, Moussette et Bergeron en Angleterre.

2° L'usage à peu près général d'après lequel le matériel pour les transports minéraux est fourni par les expéditeurs simplifie beaucoup le service de la petite vitesse sur les lignes anglaises. Ces transports entrent en effet pour plus des deux tiers dans le mouvement général des marchandises.

L'organisation anglaise laissant ainsi aux expéditeurs de matières minérales le soin de prévoir leurs besoins et d'y satisfaire, les Compagnies de chemins de fer n'ont plus à pourvoir qu'à la traction, c'est-à-dire à la partie la moins compliquée du service.

3° En Angleterre, le trafic des marchandises de classes se répartit beaucoup moins inégalement qu'en France entre les différents points d'expédition et d'arrivée. Les difficultés qu'apporte à la promptitude du service la concentration de masses considérables de marchandises à expédier d'un même point sont, d'après cela, notablement moindres en Angleterre qu'en France.

4° L'emploi presque général des entrepôts organisés sur une si vaste échelle dans tous les ports importants de l'Angleterre a pour effet de régulariser les expéditions.

5° La rapidité avec laquelle la marchandise est enlevée dès son arrivée par le destinataire prévient l'encombrement des gares.

6° La liberté qui est laissée aux Compagnies de chemins de fer en Angleterre pour les détails de leur service, liberté dont nous ne jouissons pas en France.

Tous les directeurs m'ont déclaré, dit M. Moussette, que si les expéditeurs exigeaient des engagements formels pour les délais d'expédition et de livraison des marchandises, si la législation imposait aux Compagnies de chemins de fer des délais rigoureux, et si surtout une pénalité était stipulée pour

les cas de retard, ils indiqueraient sur les engagements un délai triple au moins du délai employé actuellement.

Et alors, ont-ils ajouté, de cet état de choses naîtrait certainement l'habitude de prendre tout le temps obligatoire, sous prétexte d'éviter les erreurs qu'entraîne un service rapide et aussi pour amener une économie d'exploitation capable de compenser les indemnités auxquelles les Compagnies seraient forcément assujetties.

Résumé. — En résumé les chemins de fer, tels qu'ils sont, ont déjà rendu et rendent d'immenses services de toute nature. Il s'en faut sans doute qu'ils aient atteint les dernières limites de la perfection, mais ils s'en rapprochent chaque jour davantage, et les Compagnies font des efforts qui méritent d'être encouragés.

Que seront les chemins de fer dans l'avenir? C'est ce que personne ne saurait dire, mais il y a tout lieu de penser qu'ils acquerront un immense développement et parviendront à un degré de puissance matérielle et morale dont nous ne pouvons encore nous faire qu'une faible idée.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER

CHAPITRE PREMIER

COMPARAISON DES VOIES DE COMMUNICATION

L'importance des chemins de fer comme voie de communication a rapidement grandi dans ces dernières années.

Jusqu'en 1829, époque de l'ouverture du chemin de Liverpool à Manchester et de l'invention de la locomotive à chaudière tubulaire, on n'en fit guère usage que pour conduire les produits des mines ou des usines aux voies navigables, naturelles ou artificielles, et, même après le succès de cette grande expérience, les partisans des anciens moyens de transport soutinrent quelque temps encore que le succès était exceptionnel, et que les chemins de fer ne pouvaient réussir que dans certaines localités privilégiées, très-rares, et seulement pour de courtes distances.

L'activité de la circulation qui se développa sur les chemins de Londres à Birmingham et de Londres à Bristol, livrés au public quelques années après celui de Liverpool, détruisit cette erreur. Force fut bien alors de reconnaître que les chemins de fer étaient appelés à jouer un rôle important dans le monde politique et com-

mercial, en rapprochant les États, les cités et les hommes, en multipliant les rapports entre les individus, en facilitant les échanges de produits et d'idées, en mêlant les intérêts et faisant disparaître, par un contact fréquent, les préjugés locaux et les haines nationales.

Aussi, aujourd'hui, l'utilité économique et philosophique des chemins de fer n'est-elle plus contestée par personne, tout le monde la reconnaît; mais on diffère encore sur la limite de leur puissance. Suivant quelques auteurs, elle est bornée et ne s'étend guère au delà du transport des personnes, de leurs bagages et de certaines marchandises de peu de volume et d'une grande valeur; pour tout le reste, les routes ou les canaux leur seraient préférables, comme exigeant moins de dépenses de premier établissement et d'exploitation.

Suivant d'autres écrivains, au contraire, la supériorité des chemins de fer est absolue, aucune concurrence ne peut leur être opposée, ils remplaceront tous les autres moyens de communication, et ils doivent être préférés dorénavant aux routes et même aux canaux pour desservir les contrées dont la viabilité est incomplète.

Nous essayerons, avant d'entamer la description technique des chemins de fer, sinon de résoudre ce problème, du moins de le simplifier, en présentant les résultats d'une observation calme et impartiale des faits déjà constatés et des circonstances au milieu desquelles ils se sont produits.

Commençons par quelques mots sur le rôle modeste laissé aux routes ordinaires par l'invention des chemins de fer.

Routes. — *Perpendiculaires aux voies de fer, les routes de terre sont le premier agent de leur prospérité; ce sont elles qui les alimentent de voyageurs et de marchandises empruntés à tous les centres d'habitations placés dans la zone d'action du chemin, zone qui s'élargit en raison de la longueur de la ligne.*

Parallèles aux railways, les routes peuvent lutter avec avantage ou conserver du moins une activité suffisante lorsqu'il s'agit de courtes distances, parce qu'elles pénètrent plus à l'intérieur des villes et permettent de prendre et de livrer les marchandises à domicile sans transbordement ni frais accessoires de factage; parce que les voitures qui les desservent peuvent recueillir et déposer

les voyageurs des points intermédiaires pour ainsi dire à leur porte, tandis que les chemins de fer n'ont que de rares stations où ils ne s'arrêtent même pas toujours, et exigent un long trajet pour arriver à leurs gares, souvent situées à l'extrémité des villes.

Les routes sont, en outre, toujours préférables aux chemins de fer dans les pays de hautes montagnes, en raison des frais excessifs d'exploitation qu'entraîneraient des courbes de petit rayon et des rampes très-inclinées que l'on ne pourrait éviter qu'au moyen de dépenses inadmissibles; aussi n'est-ce que par exception que l'on a établi des chemins de fer au travers de chaînes élevées, et seulement lorsqu'il s'agissait de réunir les parties déjà construites dans des contrées moins accidentées.

Enfin, il convient également de préférer les routes ordinaires aux chemins de fer, lorsqu'on est appelé à desservir des contrées où la circulation n'a pas atteint ou ne paraît pas devoir atteindre promptement un certain degré d'activité.

Nous aurions voulu pouvoir déterminer exactement quels sont le maximum de tonnage ou de trafic et la plus petite distance pour lesquels la route ordinaire cesse de pouvoir lutter avec les chemins de fer, mais ce sont là des calculs impossibles à faire exactement, les éléments variant avec les localités et les circonstances particulières à chaque chemin.

En général, on trouve qu'il est peu avantageux d'établir un chemin de fer si le mouvement n'est au moins de 60 à 80,000 tonnes de marchandises transportées par an sur toute la ligne, ou l'équivalent en voyageurs.

Une des plus grandes difficultés, dans ces sortes de calculs, est de bien déterminer le prix du roulage. Les entrepreneurs ont, sur un grand nombre de routes voisines des chemins de fer, réduit leurs prix à un taux de beaucoup inférieur à celui sur lequel on avait établi des comparaisons. Cela tient en partie à ce qu'ils ont pu considérer le capital de leur matériel comme amorti par les bénéfices qu'ils avaient faits antérieurement.

L'éloignement du point de départ ou du point d'arrivée d'un chemin de fer, du domicile ou du lieu de destination du voyageur, a sans doute beaucoup moins d'influence sur la circulation de ce

chemin que celui du point de départ ou d'arrivée des magasins de l'expéditeur ou du destinataire de marchandises. Il s'en faut cependant que les chemins de fer absorbent la totalité du mouvement des voyageurs, lorsqu'ils sont courts et que leurs points de départ et d'arrivée sont très-éloignés du centre des villes qu'ils desservent. Ainsi, entre Paris et Versailles, malgré l'existence de deux chemins de fer, les voitures publiques continuent de transporter un grand nombre de voyageurs, dont, à la vérité, une partie provient des localités intermédiaires, et le chemin de Saint-Germain n'est pas parvenu à éteindre entièrement la concurrence. Il en est du chemin de Vincennes comme du chemin de Saint-Germain et de Versailles.

Un fait remarquable, c'est que, malgré l'établissement des chemins de fer, le chiffre de la circulation sur les routes n'a pas sensiblement varié. Le mouvement s'est seulement déplacé. Il a augmenté sur les routes transversales aux chemins de fer, tandis qu'il a diminué sur les routes parallèles.

Les chiffres suivants, que nous empruntons à l'enquête publiée par le gouvernement en 1855, nous en fournissent la preuve.

En 1845, lorsque l'on commençait à peine à construire en France les grandes lignes de chemins de fer, le nombre de kilomètres parcourus par les véhicules de toutes sortes sur les routes ordinaires était de 420 millions de kilomètres. En 1854, la longueur des chemins de fer en exploitation dépassant 4,000 kilomètres, le parcours des véhicules sur les routes était de 428 millions de kilomètres.

Nous ne possédons aucune donnée sur le parcours depuis 1854.

Canaux. — La puissance de bon marché des canaux pour une circulation active étant beaucoup plus grande que celle des routes, et se rapprochant davantage de celle des chemins de fer, et les voyageurs se trouvant à peu près exclus des canaux, tandis qu'ils procurent aux chemins de fer et aux routes à barrières une très-grande partie de leurs revenus, la question de savoir quel est le mode de transport le plus économique est, pour les canaux comparés aux chemins de fer, moins simple que pour les routes.

Pays où les canaux sont impraticables. — Les canaux consommant, pour leur alimentation, surtout dans les pays montagneux où

les écluses sont nombreuses, une grande quantité d'eau que souvent on ne peut amener dans leur lit qu'à grands frais, et qu'il est quelquefois impossible de se procurer, la multiplicité des écluses autant que la grandeur des bassins et la longueur des rigoles en rendent l'établissement extrêmement dispendieux.

Les canaux deviennent donc impraticables dans certains pays accidentés, où l'on construit au contraire des chemins de fer avec avantage.

Ce fait n'est pas contesté. Si, pour établir des communications entre le bassin houiller de Saint-Etienne et les bassins de la Loire ou du Rhône, on a construit des chemins de fer, ce n'est qu'après avoir reconnu la presque impossibilité d'y établir des canaux.

Le chemin de fer de Darlington à Stockton, celui d'Alais à Beaucaire, celui de Sarrebrück à Nancy et beaucoup d'autres, ont été

À l'appui de cette assertion, nous ferons observer : 1° que la quantité d'eau nécessaire pour élever une certaine charge à une certaine hauteur est généralement égale à six fois le poids de cette charge tombant de la même hauteur, et, pour la faire descendre, égale à quatre fois le poids; 2° qu'une très-grande partie de l'eau qui alimente le canal se perdant par les filtrations, l'évaporation et les pertes d'écluses, on serait encore très-loin de suffire à la dépense du canal, si on ne lui fournissait au point de partage qu'un volume d'eau égal à six fois le poids des charges qui montent, et quatre fois celui des charges qui descendent. Il faut, dit M. Huerne de Pommeuse, qu'il entre dans le lit du canal une quantité d'eau égale au moins à vingt fois son prisme de remplissage (ou capacité totale de la ligne navigable) pour suffire aux dépenses d'eau qu'il doit subir, tant pour le remplissage des écluses que pour remplacer ce qu'enlèvent l'évaporation et la filtration; 3° que les filtrations sont d'autant plus redoutables que le point de partage est placé à une plus grande élévation au-dessus du niveau de la mer.

Il est souvent impossible ou extrêmement coûteux de se procurer cette masse d'eau énorme qu'exige le canal. Quelquefois on ne peut l'amener dans le lit du canal qu'en passant de nombreuses usines de force motrice, ou des prairies étendues de moyens d'irrigation. Il arrive même sur certains canaux que l'on est obligé d'élever de l'eau d'une écluse à une autre, au moyen de machines à vapeur, comme, par exemple, sur le canal de Birmingham. Une fois la partie de cette eau précieuse suffirait pour développer économiquement sur un chemin de fer la force mécanique nécessaire au moyen de roues à auge, ou mieux encore de machines à volume d'eau. S'il y a excès, les rigoles distribueraient le surplus à l'agriculture et aux établissements industriels. Si l'eau se trouvait en grande abondance, on est presque toujours certain de pouvoir tirer un parti avantageux du surplus de la force qu'absorberait le canal en faveur de fabriques heureusement placées entre deux centres commerciaux sur une ligne fréquentée. Dans certaines localités, des machines fixes à vapeur, placées au sommet des pentes, remorqueraient les convois à moins de frais. Les machines locomotives peuvent même remonter les pentes qui ne dépassent pas 5 centimètres 1,2 par mètre pente maxima du chemin de Turin à Gènes).

également construits dans des localités où l'on ne pouvait songer à creuser des canaux.

Tous ces chemins de fer ouvrent des débouchés à de magnifiques bassins houillers qui, sans leur secours, seraient restés à peu près improductifs.

Le développement progressif de la circulation sur la plupart de ces nouvelles voies et le chiffre qu'elle a atteint après quelques années témoignent assez des immenses services qu'elles rendent à l'industrie.

Ainsi, sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, le tonnage, qui n'était,

	en 1835,	que de	522,655	tonnes,
s'est élevé,	en 1840,	à	577,480	—
	en 1847,	—	865,611	—
	en 1851,	—	772,627	—
	en 1855,	—	1,010,157	—
	en 1856,	—	1,052,000	—

Sur le chemin de Darlington à Stockton, le tonnage a été,

en 1826, 1 ^{re} année d'exploitation,	de	101,500	tonnes,
2 ^e	—	de 141,647	—
3 ^e	—	de 150,051	—
4 ^e	—	de 171,840	—
5 ^e	—	de 288,714	—
6 ^e	—	de 450,100	—
7 ^e	—	de 507,452	—
»	—	de 695,000	—
20 ^e	—	de 988,700	—

parcourant la distance entière.

Sur celui d'Alais à Beaucaire, les chiffres du tonnage ont été, la 1^{re} année d'exploitation, de 95,170 tonnes,

2 ^e	—	de 161,780	—
3 ^e	—	de 178,700	—
4 ^e	—	de 255,000	—
5 ^e	—	de 264,890	—
6 ^e	—	de 508,640	—

parcourant partie ou totalité de la ligne.

Grâce à l'établissement du chemin de fer, la production des

mines de la Grand-Combe s'est élevée de 50,000 tonnes par an à 500,000 tonnes.

Canaux et chemins de fer sur sol médiocrement accidenté. —

Quand le sol est moins accidenté, le canal devient possible aussi bien que le chemin de fer, et c'est alors seulement qu'il peut y avoir rivalité entre ces deux voies de communication.

Personne, avons-nous dit, ne met en doute la supériorité des chemins de fer pour le transport des voyageurs; les marchandises de roulage même avaient semblé jusqu'à ce jour devoir leur appartenir exclusivement.

Toutefois on a installé, depuis quelques années, sur les canaux du Nord et de Bourgogne, des bateaux à vapeur qui portent les marchandises de cette nature en marchant à une certaine vitesse. Ces bateaux ont pris le nom de *bateaux porteurs*. Sur les rivières ils obtiennent quelque succès. Ils font même quelque concurrence au chemin du Nord, le trajet s'opérant en partie sur rivières et en partie sur voies navigables artificielles. De Reims au Havre, marchant pour la plus grande partie du voyage sur l'Oise et sur la Seine, ils enlèvent une quantité considérable de marchandises de roulage aux chemins de fer; si la plus grande partie du parcours devait au contraire s'effectuer sur des canaux, ils perdraient tous leurs avantages, celui de la vitesse d'abord parce qu'ils emploient beaucoup de temps à passer les écluses comme les autres bateaux, celui de l'économie également parce qu'ils éprouvent, eu égard à leur section, qui est de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ de celle du canal, une grande résistance de la part du liquide et fatiguent les berges du canal en agitant l'eau. Sur les rivières les bateaux porteurs ne marchent pas toujours à l'aide de leur machine; sur la Seine, à la remonte, on est obligé quelquefois de les touer¹.

¹ **FRAIS D'ENTRETIEN.** — Les frais d'entretien des chemins de fer, et surtout ceux des canaux, dans l'origine, sont considérables, parce qu'il faut subir les tassements sur le chemin de fer, et obvier aux filtrations sur le canal. Rejetant ces dépenses dans les frais de construction proprement dits, nous n'entendons parler ici que des frais d'entretien réguliers d'un chemin de fer ou d'un canal après un certain nombre d'années de mise en exploitation. Les frais d'entretien de la voie navigable, si l'on défalque le produit de la pêche et des plantations, paraissent assez faibles pour un canal avec un petit nombre d'écluses; ils augmentent avec le nombre des écluses. Sur le canal du Languedoc, où l'on rencontre cent écluses sur une longueur de 241 kilomètres, les

A de petites vitesses, ce nouveau mode de transport sur les voies de navigation artificielles est moins économique que l'ancien. Si donc nous voulons comparer les frais de transport, sur l'une et

frais d'entretien, d'administration et de perception étaient, il y a une vingtaine d'années, de 2,700 fr. par kilomètre, les frais d'entretien seuls d'environ 2,100 fr. Sur le canal de Briare, dont la pente est rachetée par quarante écluses distribuées sur une longueur de 56 kilomètres, les frais d'entretien sont d'environ 1,800 fr. par kilomètre; sur le canal du Centre, ils ont été de 1,400 fr., mais ce canal était alors mal entretenu; sur le canal de Bruxelles à Boom, qui ne compte que cinq écluses sur une longueur de 28 kilomètres, ils n'atteignent pas 1,000 fr. par kilomètre. Les frais d'entretien et police sur des portions du réseau de l'Est, livrées depuis cinq ans à l'exploitation, sont de 5,000 fr. par kilomètre. Sur un chemin moins fréquenté et où l'on marcherait à de moins grandes vitesses, ils ne dépasseraient sans doute pas 1,500 fr.

FRAIS DE TRANSPORT. — Nous comprenons dans les frais de transport ou véhicule proprement dit, sur les canaux et les chemins de fer, les frais de traction, conduite, intérêt du capital, moins-value et entretien des bateaux ou machines et chariots et les frais de chargement et déchargement. Nous n'y faisons pas entrer les droits de parcours, qui doivent représenter les intérêts du capital de la voie et le bénéfice de l'entrepreneur de cette voie. Les frais de véhicule sur les canaux varient entre des limites assez étendues : ils sont plus ou moins grands, suivant que le canal est plus ou moins large, plus ou moins rempli d'eau; que le nombre des écluses est plus ou moins considérable; que la concurrence entre les bateliers est plus ou moins active; que les retours sont plus ou moins assurés; que le taux des salaires est plus ou moins élevé.

Nous avons recueilli des renseignements très-précis sur les frais de transport par la Seine, l'Oise, l'Aisne canalisées, et les canaux entre Paris et Reims.

Le bateau portant 180 tonneaux, les frais de transport, droits non compris, de Paris à Reims, sont de 1,205 fr. 50 c., soit de 2^e,55 par tonne et kilomètre, se subdivisant de la manière suivante :

Frais de conduite ou halage proprement dit.	0 ^e ,70
Mariniers.	0 ^e ,55
Usure des cordages.	0 ^e ,30
Assurance.	0 ^e ,70
Intérêt et amortissement du capital du bateau.	0 ^e ,50
TOTAL.	2 ^e ,55

Les frais d'embarquement ou de débarquement, indépendants de la distance parcourue, sont de 300 fr. par bateau.

Le prix de l'assurance est élevé; il pourrait être réduit à 0^e,15 ou 0^e,20; la dépense pour usure des cordages pourrait descendre aussi à 0^e,20.

Le prix total descendrait alors à 1^e,75.

Le retour ayant lieu à vide, il faudrait augmenter ce prix de revient dans une certaine proportion. Le retour ayant lieu avec une certaine charge, mais cette charge étant plus grande ou plus petite que celle à l'aller, il faudrait prendre la moyenne à l'aller et au retour, et, si elle était supérieure ou inférieure à 180 tonneaux, il faudrait diminuer ou augmenter le prix de revient ci-dessus, en raison de la différence.

Les droits de pont s'élèvent, sur les rivières, à 19 fr., et ceux de la navigation, sur les canaux, à 191 fr. 55 c. (50 centimes par tonne pour la distance totale sur le canal Saint-Denis, 5 centimes 1/2 par tonne et par kilomètre sur les autres canaux, et 1 fr. 80 c. par tonne et par écluse sur l'Oise canalisée).

De Paris à Strasbourg, le transport par eau s'effectuant en partie sur la Marne ou

sur l'autre voie, de certains articles de commerce, et des marchandises lourdes et de peu de valeur qui font l'objet principal de transport sur les canaux, nous devons en faire abstraction.

Le canal de l'Oureq, et en partie sur le canal latéral à la Marne ou sur celui de la Marne au Rhin, à une distance moyenne de 421 kilomètres, la dépense moyenne a été, pour la totalité des transports effectués du 10 mars 1855 au 10 mars 1856, par tonne et par kilomètre, de 5^e,60, se subdivisant de la manière suivante :

Frais de traction.	2 ^e ,56
Transbordement à Comières et à Mary.	0 ^e ,29
Cordages, agrès, huile et menus frais.	0 ^e ,20
Assurance.	0 ^e ,10
Avaries.	0 ^e ,07
Frais généraux de toutes espèces.	0 ^e ,51
Intérêt des capitaux et amortissement.	0 ^e ,07
TOTAL.	3^e,60

On a eu égard dans ce calcul aux vides provenant de charges incomplètes à l'aller et au retour.

La dépense sur le canal de la Marne au Rhin est moins élevée que 5^e,60, moyenne de la navigation sur la rivière et sur le canal.

En général, les frais de transport, tels que nous les avons définis sur des canaux à grande section avec un petit nombre d'écluses, portant des bateaux de la contenance de 200 tonneaux, en ayant égard aux vides, seront de 1 centime 1/2 à 2 centimes, suivant l'importance du vide; sur des canaux à petite section, ne portant que des bateaux de la contenance de 60 à 100 tonneaux avec un assez grand nombre d'écluses, tel qu'est le canal de Briare et tel que le serait le canal de la Sarre, ils peuvent très-bien élever de 3 à 4 centimes.

Sur un chemin de fer à pentes moyennes, lorsque les convois sont entièrement chargés, comme le sont quelquefois les convois de houille, les frais de traction proprement dits sont très-faibles; ainsi, en supposant une charge utile de 550 tonnes, ces frais ne dépasseraient pas 0^e,0057, soit environ 4/10 de centime par tonne et par kilomètre. Mais, si les convois, comme c'est le cas le plus général, sont faiblement chargés, ou si les retours se font à vide, la dépense augmente considérablement. Ainsi, aux chemins de fer de l'Est, la moyenne des frais de traction pour des marchandises de toute nature s'est élevée en 1859 à 0^e,0175, soit environ 1 centime 7/10.

Ces chiffres ne comprennent ni l'entretien de la voie, ni les dépenses que nécessite le service des gares et des trains (personnel de l'exploitation), ni les frais généraux, ni l'intérêt du matériel, ni enfin l'amortissement de la voie et du matériel.

Si l'on a égard à ces différentes natures de frais, on obtient pour le prix de revient moyen d'un train de marchandises de toute nature aux chemins de fer de l'Est, en 1859, celui de 0^e,0448, soit environ 4 1/2 centimes. Ce prix se décompose de la manière suivante :

Voie.	0 ^e ,0060
Traction.	0 ^e ,0175
Exploitation.	0 ^e ,0118
Service central, frais divers.	0 ^e ,0025
Renouvellement de la voie et du matériel.	0 ^e ,0076
TOTAL.	0^e,0448

Il est vrai que le réseau des chemins de fer de l'Est se trouve dans des conditions

Pour établir cette comparaison, supposons d'abord le cas d'un chemin de fer et d'un canal destinés à transporter exclusivement, ou à peu près, une seule nature d'objet, la houille par exemple, comme le chemin de fer et le canal de la Sarre que l'on est sur le point d'établir pour conduire en Alsace les produits des houillères de Sarrebrück.

Le chemin de fer, dans ce cas, sera à une seule voie; on pourra admettre des courbes de petit rayon, et, dans le sens du mouvement, certaines pentes fortes, surtout s'il est possible de faire usage de plans automoteurs. Les frais de construction par kilomètre ne dépasseront pas ceux du canal, si même ils ne sont plus faibles.

Les devis portaient pour le chemin de fer de la Sarre la dépense à 200,000 fr. le kilomètre, et, pour le canal, à 190,000 fr.

d'exploitation assez mauvaises, les retours à vide ou avec faible charge y étant fréquents.

Si l'on fait le calcul pour le transport de la houille seulement, on trouve que, le train étant complètement chargé dans un sens, le prix du transport d'une tonne à 1 kilomètre est dans cette direction de 1 centime 6/10 seulement, renouvellement de la voie et du matériel non compris. Ce prix se décompose de la manière suivante :

Voie.	0',0063
Traction.	0',0037
Exploitation.	0',0040
Service central, etc.	0',0023
TOTAL.	0',0163

Mais les retours ont généralement lieu à vide. Il faut alors doubler les frais, sauf ceux de traction, qui sont un peu moindres au retour, et que nous supposons réduits à 0',003. Le retour du train à vide grèvera donc le prix du transport de la tonne à 1 kilomètre d'une nouvelle dépense montant à 0',0156. Les deux sommes réunies donnent 0',0319, soit 3 centimes 2/10 environ.

Si donc les Compagnies de chemins de fer effectuent des transports à des prix inférieurs à 3 centimes, cela tient à ce que, considérant leurs frais généraux, une partie de leurs frais d'exploitation et entretien de la voie couverts par le service des voyageurs et par celui des marchandises qui payent un tarif élevé, elles se contentent, pour d'autres marchandises qui doivent être transportées très-économiquement, d'un léger bénéfice sur les frais de traction proprement dits augmentés de l'intérêt du capital pour le matériel supplémentaire. Cela tient encore à ce qu'il vaut mieux transporter à bas prix des marchandises au retour que de revenir avec des wagons entièrement vides.

Dans les frais précités, nous n'avons pas compris ceux de chargement et déchargement. Ces frais, qui ensemble varient de 1 fr. à 1 fr. 50 c. par tonne, n'exercent une influence sensible sur les frais de transport que pour de petites distances.

Nous devons enfin faire observer que nous avons supposé pour la houille des transports à des distances moyennes de 120 kilomètres. La dépense diminue pour des distances plus grandes, et augmente pour des distances moindres.

Les frais de transport, sur un canal placé dans les conditions du canal de la Sarre, peuvent être évalués, au minimum, à 3 centimes par kilomètre ; ceux du chemin de fer, en admettant que les convois marchent avec charge complète et reviennent à vide, ne seront pas plus élevés.

L'intérêt du capital est sensiblement le même des deux côtés.

Les frais d'entretien par kilomètre seront peu différents. Mais le parcours par le canal sera plus long que par la voie de fer.

Le chemin de fer, en effet, lors même qu'on admet dans son tracé des courbes de petit rayon, ne fait jamais des circuits aussi prononcés que le canal. Ce n'est le plus souvent qu'au moyen de détours multipliés, en se soutenant sur la pente des coteaux, que le canal traverse les pays accidentés. Les souterrains et les remblais, souvent employés dans le tracé des chemins de fer pour abréger la distance, sont, au contraire, rejetés toutes les fois que cela peut se faire dans le tracé des canaux, parce qu'ils exposent à des chances de filtration qu'il est bien difficile d'apprécier d'avance.

Le transport sera donc plus économique par le chemin de fer que par le canal¹.

Ce qui prouve assez la justesse de cette conclusion, c'est la proposition faite au Corps législatif par la Compagnie du chemin de fer de l'Est d'assurer au commerce, en construisant le chemin de fer, un prix de transport inférieur à celui du canal, à cette condition seule que l'État lui accorderait la subvention qu'il offrait pour la construction du canal.

La dépense fût-elle la même dans l'un et l'autre cas, le chemin de fer n'en conserve pas moins l'avantage sur le canal, par cette raison-là seulement qu'il permet une plus grande régularité et une plus grande rapidité dans le service. Régularité et rapidité qui, moins précieuses sans doute pour le transport de la marchandise que pour celui des voyageurs, ne sont cependant pas sans valeur, même pour le transport de la marchandise. Les chemins de fer ne sont exposés, ni à la suspension du service provenant de la sécheresse, ni à celle occasionnée par la gelée, par le nettoyage du

¹ Voir, plus loin, le paragraphe relatif au canal de Shuykill en Amérique. Ce canal se trouve établi dans les mêmes conditions que le canal de la Sarre.

canal ou par toute autre cause. La marche, même avec les machines les plus massives, y est toujours plus rapide que sur les canaux, et l'on peut expédier la marchandise par petites quantités à la fois plus facilement que par les canaux. Le consommateur évite ainsi de faire des approvisionnements qui lui occasionnent toujours une perte d'intérêts plus ou moins grande, et il n'a à craindre dans aucune saison ces retards si longs et souvent si fâcheux qui sont inhérents pour ainsi dire aux transports par les voies navigables.

Voici du reste comment s'exprime le rapporteur du projet du canal de la Sarre :

« Depuis quinze années le pays et les organes légaux ont marqué leur préférence pour les chemins de fer comparés aux voies fluviales artificielles, et l'on ne peut s'empêcher de reconnaître que, si ces dernières offrent à l'industrie des avantages considérables par la modicité de leur prix de transport, les lignes ferrées ont dû paraître aux populations éminemment supérieures, en ce qu'elles transportent les hommes en même temps que les choses ; que leurs nombreuses stations et les embranchements qui viennent s'y souder de toutes parts prennent et déversent leurs chargements sur tous les points de leur parcours, multipliant ainsi les rapports et les échanges entre des contrées éloignées ; qu'enfin leur service, d'une régularité mathématique, n'est point, comme celui des canaux, sujet à des retards, à des intermittences fréquentes, et exposé, dans les régions où les hivers rigoureux convertissent l'eau du canal en une glace compacte, à des interruptions et à des chômages prolongés. »

Le cas que nous venons d'examiner d'un canal ou d'un chemin de fer ne transportant que des marchandises se présente bien rarement. Il arrive ordinairement que, là où le mouvement des marchandises de faible valeur est assez actif pour motiver la construction d'un canal ou d'un chemin de fer, là aussi celui des voyageurs et des marchandises de roulage est considérable.

Les frais de construction du chemin de fer convenant à ce double service, à grande et à petite vitesse, sont sans doute plus élevés que si le chemin ne devait transporter que des marchandises de

roulage du genre de celles que transportent les canaux, ou des marchandises à petite vitesse; mais, comme les voyageurs et les marchandises à grande vitesse peuvent supporter une grande partie des frais généraux de l'exploitation et de l'entretien de la voie, les bénéfices que l'on retire de leur transport payent une partie des intérêts du capital. Il s'ensuit que la portion des frais généraux, des frais d'entretien de la voie et des intérêts du capital afférant au service des marchandises se trouve inférieure à ce qu'elle eût été si l'on eût construit et exploité le chemin pour le transport des marchandises seulement. Il arrive même fréquemment, comme le prouvent assez les comptes d'exploitation des chemins du Nord, d'Orléans, de Rouen, de Strasbourg, de Londres à Birmingham, de Londres à Bristol et de beaucoup d'autres, que le bénéfice provenant du service des voyageurs et des marchandises à grande vitesse suffit pour couvrir entièrement les frais d'entretien de la voie, ainsi que ceux d'administration, et pour payer la totalité des intérêts du capital. Les Compagnies peuvent, dans ce cas, transporter les marchandises de peu de valeur à un prix extrêmement modéré, et, pour attirer celles qui leur échapperaient si les tarifs restaient trop élevés, se contenter d'un léger bénéfice sur les frais de traction.

Aussi voyons-nous aujourd'hui toutes les grandes lignes de chemins de fer transporter ce genre de marchandises à des prix égaux, si ce n'est inférieurs, à ceux de la navigation : le plâtre, les pierres, les bois, les grains, la houille même, à 5 centimes ou à 5 centimes 1/2 par kilomètre.

Le nombre des chemins qui jouiront des mêmes avantages que ceux que nous venons de citer se multipliera avec l'accroissement de circulation qui a lieu d'année en année sur presque toutes les grandes lignes.

Nous reproduisons, à ce sujet, l'opinion d'hommes que l'on ne peut suspecter de partialité à l'égard des chemins de fer : c'est celle des membres d'une commission nommée par le Parlement anglais pour donner son avis sur les associations projetées de plusieurs Compagnies de canaux et de chemins de fer.

« Il ne faut pas perdre de vue, dit le rapporteur, au nom de la commission, que, bien qu'il ait été établi que les canaux habi-

lement administrés peuvent soutenir la concurrence des chemins fer pour le transport des marchandises encombrantes, jusqu'à présent cette concurrence ne s'est produite pour eux que dans des conditions fort désavantageuses, à cause des grands bénéfices que les chemins de fer retirent du transport des voyageurs : ces bénéfices permettent en effet à ces derniers de faire un sacrifice sur les marchandises pour dépouiller plus sûrement la navigation. »

Si donc la construction d'un chemin de fer est préférable à celle d'un canal sur une ligne comme celle de la Sarre, où la circulation des voyageurs et des marchandises de roulage est insignifiante, comparée à celle des marchandises encombrantes, à plus forte raison l'est-elle quand au mouvement de cette nature de marchandises vient se joindre celui des voyageurs et des marchandises de valeur.

Avantages de la régularité et de la rapidité des transports sur les chemins de fer. — Et ce n'est pas seulement au point de vue de l'économie qu'il faut considérer la question. Nous avons déjà signalé les avantages de la régularité et d'une certaine rapidité dans les transports, même pour les marchandises d'une faible valeur, comme le charbon de terre. Ces avantages ont une bien plus grande importance encore pour les voyageurs ou pour les marchandises précieuses. On peut même dire que l'immense succès des chemins de fer pour le transport des voyageurs tient surtout à leur extrême rapidité et à la certitude donnée au public de pouvoir partir presque à toute heure de la journée, en obtenant toujours telle place qu'il lui convient de choisir.

La résistance opposée par le liquide au mouvement des bateaux sur une voie navigable, à de très-petites vitesses, est tellement faible, qu'une même force motrice, un cheval, par exemple, traîne, au pas, en exerçant le même effort, une charge trente, quarante et même cinquante fois aussi considérable que sur une route ordinaire. La résistance produite sur un chemin de fer par le frottement est beaucoup plus forte, puisqu'elle s'élève, même à une petite vitesse, à la dixième ou à la huitième partie de celle qui a lieu sur une route ordinaire. Mais sur le canal cette résistance croît proportionnellement au carré ou même au cube de la vitesse, selon que la section du canal est plus ou moins grande relativement au plan

de *flottage* du bateau, tandis qu'elle reste sensiblement la même à toutes les vitesses sur le chemin de fer et la route ordinaire. La résistance de l'air n'est appréciable sur un chemin de fer qu'à des vitesses bien supérieures à celles possibles sur les canaux. Il s'ensuit que la vitesse occasionne sur un canal, même en ne dépassant pas 12 à 16 kilomètres par heure, une augmentation de dépense considérable, d'abord à cause de l'augmentation de résistance à laquelle elle correspond, et ensuite parce que le travail utile de l'homme ou du cheval qui hale le bateau diminue rapidement. Elle est également fort coûteuse, par cette seconde raison, sur les routes ordinaires ; mais, sur les chemins de fer, on l'obtient, au moyen des machines locomotives, à un prix modéré, avec une régularité que la navigation ne comporte pas.

Chemins de fer et canaux en Angleterre. — Malgré le grand nombre de canaux qui sillonnent déjà l'Angleterre, on en avait projeté de nouveaux quand l'exploitation des grandes lignes de chemin de fer appela l'attention du public sur ces rivaux de la navigation. On en suspendit l'exécution jusqu'à ce que la pratique eût prononcé sur le mérite des chemins de fer comme moyen de transport des marchandises. Aujourd'hui, sans doute, les enseignements de la pratique, tout incomplets qu'ils soient, paraissent suffisants, puisqu'on a définitivement renoncé aux projets de construction de canaux, et que chaque jour on voit éclore de nouveaux projets de chemins de fer.

En vain allègue-t-on que certains canaux en Angleterre donnent encore des dividendes supérieurs à ceux des chemins de fer concurrents. On a répondu avec raison que ces dividendes seraient beaucoup moins élevés si l'amortissement n'eût déjà réduit considérablement le capital de ces canaux, et s'ils n'eussent d'ailleurs été construits à une époque où la main-d'œuvre était moins chère qu'elle ne l'est aujourd'hui.

S'il en était autrement, et s'il y avait lieu d'espérer de beaux revenus de la construction de nouveaux canaux, les Anglais, auxquels on ne reprochera pas sans doute le défaut de sagacité en industrie, n'auraient pas complètement renoncé aux entreprises nouvelles de canalisation.

De ce que l'ouverture de nouvelles voies de navigation est devenue impossible à la spéculation en Angleterre, il ne faudrait cependant pas en conclure qu'elle l'est également dans les autres pays.

Les canaux déjà existants en Angleterre ne sont pas dans les meilleures conditions possibles pour lutter avec les chemins de fer, et la nécessité de relier les nouveaux canaux au réseau déjà établi forcerait à les construire dans le même système que les anciens.

« Les canaux anglais, dit M. Teisserenc, ne répondent guère à l'idée qu'on peut en concevoir, quand on ne les connaît que par les modèles qu'on croit en trouver dans les canaux construits en France, en Belgique et en Hollande.

« A la place des écluses, dans lesquelles tiennent à l'aise ces bateaux longs de 28 à 50 mètres et chargeant de 100 à 150 tonneaux et au delà, de ces doubles chemins de halage qui ont 4 mètres de largeur, de ces banquettes qui couvrent souvent 7 mètres en travers, de ces ponts offrant sous clef et au-dessus du niveau du sol une hauteur de 5 1/2 à 6 mètres, de ces tracés avec beaux alignements droits et aux courbures modérées de 180 à 200 mètres de rayon au moins, qui se rencontrent sur les canaux français nouvellement construits, on ne trouve, la plupart du temps, en Angleterre, que des sillons étroits, sinueux, tournant et retournant à angle droit, formant la cuvette du canal, une seule banquette de halage qui n'a pas toujours 2 mètres de large, des ponts qui offrent tout juste un passage au batelet jaugeant de 50 à 40 tonneaux. »

Il est vrai, d'un autre côté, que la navigation des canaux anglais n'est pas entravée par le mauvais état des fleuves qui lui servent d'aboutissants, par la longueur des chômages, des temps d'arrêt résultant des sécheresses prolongées ou des glaces, puisque, secondées par l'égalité et l'humidité générale du climat, les Compagnies ont pu s'affranchir entièrement de ces entraves au moyen de vastes réservoirs, de pompes à vapeur, etc.

Mais il s'en faut que ces avantages puissent compenser les graves inconvénients qui résultent, pour l'exploitation des canaux, de la petitesse des écluses et de leur peu de largeur.

L'exiguïté de la charge que portent les bateaux et l'augmentation

de résistance à laquelle donnent lieu les dimensions du canal exercent sur les frais de halage une influence très-fâcheuse.

Chemins de fer et canaux en France. — En France, la lutte n'a eu lieu sérieusement jusqu'à ce jour que sur les parcours suivants : de Rive-de-Gier à Givors, où il existait en même temps un canal et un chemin de fer exploités l'un et l'autre par des Compagnies; de Paris à Lille et Valenciennes, où le chemin du Nord est en concurrence avec une ligne composée en partie de canaux et en partie de rivières navigables; de Paris à Strasbourg, de Strasbourg à Mulhouse, de Paris à Lyon, et de Paris à Orléans¹. De Bordeaux à Toulouse, il n'y a pas lutte entre le chemin de fer et le canal, puisque l'un et l'autre sont exploités par la Compagnie du Midi.

De Rive-de-Gier à Givors, les administrateurs du canal, après avoir essayé pendant quelques années de soutenir la concurrence du chemin de fer, ont fini par avouer leur impuissance dans les termes suivants :

« Il n'y a pas de milieu, ont-ils dit : il faut avoir avec le chemin de fer ou la paix ou une guerre acharnée. Vous avez avec raison préféré le premier parti; car, il faut bien le dire, nous ne sommes pas en position de prendre le second. Que nous conseille-t-on? De rompre tout pacte avec notre associé, de baisser notre tarif, parce que nos frais sont comparativement très-minimes et que lui ne peut abaisser le sien; d'établir un vaste dépôt à Lyon; de faire construire le nombre de remorqueurs nécessaires pour les besoins du service; d'enlever ainsi tous les transports de Rive-de-Gier au chemin de fer. *Tout cela, messieurs, est facile sur le papier; mais, dans l'exécution, c'est une autre affaire.*

« Au temps où nous vivons, avec le système qui a créé la marche progressive de l'industrie, on veut beaucoup faire et surtout aller vite; ce système s'accorde mal avec le mouvement lent et paisible d'un canal. »

La défaite du canal de Givors est d'autant plus remarquable, que le chemin de fer concurrent, construit à une époque où l'on man-

¹ Nous n'entendons parler ici que de la lutte entre les chemins de fer et les voies navigables artificielles; nous parlerons plus loin de celle qui peut avoir lieu entre les chemins de fer et les voies de navigation naturelles.

quait encore d'expérience, n'avait pas été établi dans des conditions très-favorables pour les transports. Les rails, trop légers, ne permettaient pas d'employer les puissantes machines en usage aujourd'hui; l'entrevoie, trop étroite, était devenue un obstacle insurmontable à l'élargissement des machines et des wagons; la pente, enfin, sur une partie du parcours du moins, assez convenable pour la descente des wagons pleins, est beaucoup trop forte pour se prêter avantageusement au retour des convois vides¹.

Là lutte entre les canaux du Nord et le chemin de fer est très-vive. Le chemin de fer a gagné du terrain sur le canal, puisque, d'après les curieux documents publiés par M. Minard, le tonnage de 1850 à 1855 y a augmenté bien plus rapidement que sur les canaux²; et qu'en 1858 le tonnage ayant notablement diminué sur les canaux, il est resté sensiblement le même sur le chemin de fer; mais la navigation n'en a pas moins conservé une partie considérable des transports. Cela tient à ce que les canaux ou rivières qui forment la ligne navigable dans cette partie de la France, comme en Belgique, se trouvent dans des conditions exceptionnelles pour effectuer les transports à bas prix. Non-seulement ils admettent les bateaux du plus fort tonnage, mais encore ils longent des mines de charbon ou s'approchent des grandes usines, de telle façon que le chargement s'opère immédiatement dans les bateaux; tandis que, pour accéder au chemin de fer du Nord, il faut construire des embranchements en grand nombre. La faible distance des mines à Paris rend d'ailleurs la durée du parcours par la voie navigable moins sensible qu'elle ne le serait sur un parcours considérable, comme, par exemple, celui de Mulhouse à Paris.

Le chemin de Paris à Strasbourg est en concurrence avec la navigation de Paris à Strasbourg. Nous avons pu nous rendre compte de l'effet de cette concurrence sur cette ligne mieux que sur toute

¹ On a exécuté depuis lors de grands travaux dans le but de changer cet état de choses, sous l'empire duquel la lutte a eu lieu entre le canal et le chemin de fer.

² Le tonnage, d'après le tableau de M. Minard, rapporté à la distance entière, était, en 1850, de Paris à la frontière belge, de 240.000 tonnes, en moyenne, sur le chemin de fer, et de 956.000 tonnes sur les rivières et canaux. En 1855, il était devenu, sur le chemin de fer, de 850.000 tonnes, et, sur les voies navigables, de 1.124.000 tonnes. En 1858 enfin, sur le chemin de fer, de 1.350.000 tonnes, et, sur les voies navigables, de 1.500.000 tonnes environ.

autre, et nous avons trouvé qu'elle n'avait jusqu'à ce jour causé qu'un très-faible préjudice au chemin de fer.

En 1860, huit ans après l'ouverture de la ligne de Strasbourg et malgré la concurrence de la ligne de Mulhouse, les recettes du service des marchandises n'en ont pas moins augmenté, sur cette ligne de Strasbourg et ses embranchements, d'environ quatre millions.

Et toutefois, si la navigation entre Paris et Strasbourg ne se trouve pas dans des conditions favorables pour lutter contre le chemin de fer, d'un autre côté, le gouvernement, propriétaire du canal de la Marne au Rhin, n'a perçu jusqu'à présent aucun tarif pour se couvrir de l'intérêt du capital de la construction ainsi que des frais d'entretien, administration et perception.

Il convient d'ajouter que les voies navigables entre Paris et Strasbourg sont assez imparfaites. La navigation sur la Marne est difficile à tel point, que, pour l'éviter, certaines marchandises, dont le transport doit se faire dans de courts délais, prennent le chemin de fer jusqu'à Châlons, où elles sont transbordées sur les bateaux du canal latéral à la Marne, pour ensuite continuer leur route par le canal de la Marne au Rhin; d'autres marchandises suivent les canaux jusqu'à Mary, où elles les abandonnent pour la Marne, sur laquelle on les transporte jusqu'à Dizy, puis entrent dans le canal latéral à la Marne; ce ne sont que les marchandises les moins précieuses et les plus encombrantes qui naviguent sur la Marne de Paris jusqu'à Châlons.

Bientôt le canal latéral à la Marne sera livré à la circulation sur toute sa longueur, et alors l'état de choses actuel changera.

Quant à ce qui est du canal de l'Aisne à la Marne, dont nous indiquons, dans notre dernière édition, la concurrence comme pouvant devenir redoutable aux chemins de fer de l'Est, il est ouvert aujourd'hui, et voici les renseignements qui nous sont communiqués sur cette voie de transport : « Pendant plusieurs mois de l'année le canal de l'Aisne à la Marne est privé d'eau. Il est à sec presque partout. La navigation y est presque nulle, et, à moins que les améliorations qu'on vient d'y faire cette année ne réussissent complètement, c'est un concurrent nul pour les chemins de fer, soit à cause du long parcours, soit à cause des difficultés que présente

toujours une navigation qui s'opère tantôt sur rivière, tantôt sur canal. »

De Strasbourg à Mulhouse, le chemin de fer est en concurrence avec le canal du Rhône au Rhin, et ici le canal n'est plus, comme le chemin de fer, dans les mains d'une Compagnie. Il peut se ruiner sans que personne s'en plaigne, puisque le Trésor comble le déficit. Aussi en a-t-on abaissé les tarifs au point de les rendre insuffisants pour couvrir même les frais d'entretien, d'administration et de perception. Le chemin de fer cependant, bien qu'il n'ait pas la ressource d'un mouvement très-actif de voyageurs pour subvenir à ses frais fixes, est parvenu à enlever, tout en accroissant ses revenus, les deux tiers des marchandises que transportait le canal. Si l'on n'eût de nouveau baissé les tarifs, il aurait peut-être absorbé la totalité lorsqu'il s'est prolongé au delà de Mulhouse, dans la direction de Lyon.

De Paris à Lyon, le trajet par eau se fait d'abord sur la Seine, et puis sur l'Yonne, le canal de Bourgogne et la Saône. On change plusieurs fois de bateaux. Une partie du chemin de fer ayant été livrée à la circulation de 1848 à 1851, dit le rédacteur des documents statistiques publiés par le gouvernement, le tonnage de la voie navigable, qui était en 1847 de 202,688 tonnes, descend en 1850 à 179,152 tonnes. Plus tard, de nouvelles sections du chemin de fer étant exploitées, le tonnage continue à diminuer. En 1852, année qui a suivi l'ouverture du chemin de Châlons jusqu'à Paris, il n'est plus que de 125,858 tonnes, et, en 1855, de 80,000 tonnes. En 1854, le tonnage s'est relevé à 155,000 tonnes. Mais à cette année correspond une diminution notable dans les droits de navigation. Aussi, sur cette ligne, l'abaissement des tarifs n'a pu réussir à rendre au canal ce que lui avait enlevé la concurrence du chemin de fer. En 1858, le tonnage était retombé à 88,000 tonnes. Entre la Roche et Dijon, la distance est de 160 kilomètres par le chemin de fer et de 215 kilomètres par le canal de Bourgogne : cette différence donne à la voie de fer un avantage réel.

De Paris à Orléans, le trajet étant, par le chemin de fer, de 122 kilomètres, celui par les voies navigables (la Seine, les canaux du Loing et d'Orléans) est de 218 kilomètres. Les canaux ont beau-

ont souffert de la concurrence du chemin de fer, qui les a forcés à réduire leur tarif de 40 pour 100; leur tonnage toutefois, malgré la longueur du parcours et l'exiguïté des charges portées par les bateaux, a peu varié. Mais ce tonnage, comparé à celui du chemin de fer, est très-faible; car, si l'on fait abstraction des marchandises trop éloignées du chemin de fer pour qu'elles puissent s'en servir avec avantage, on trouve qu'en 1858 le tonnage du chemin de fer entre Paris et Orléans¹ étant de 954,000 tonnes, celui des voies navigables, représenté par celui du canal d'Orléans, n'a été que de 50,000 tonnes.

De Tours à Vierzon, les transports peuvent s'opérer de deux manières, soit sur le Cher canalisé, soit par le chemin de fer. Le trajet par le chemin de fer est d'environ 200 kilomètres, tandis que celui par les voies navigables n'est que de 140. Le chemin de fer cependant est parvenu à enlever à la voie navigable une partie des marchandises qu'elle transportait. Il est vrai que le canal, étant à petite section, porte des bateaux qui ne chargent pas au delà de 35 à 50 tonnes.

Après avoir cherché à nous rendre compte de l'influence que la concurrence des voies navigables et des chemins de fer a pu exercer sur le transport des marchandises dans certains cas particuliers en France, il est bon de rechercher l'effet produit généralement dans le pays par cette concurrence.

Le tableau suivant, publié par M. Minard, inspecteur général des ponts et chaussées, permet d'apprécier le mouvement des marchandises sur les voies navigables et de le comparer au mouvement sur les chemins de fer.

¹ Une grande partie de ce trafic (57,000 tonnes environ) provient des localités au delà d'Orléans.

TABLEAU COMPARATIF

DU MOUVEMENT DES MARCHANDISES SUR LES VOIES NAVIGABLES ET SUR LES CHEMINS DE FER.

	EN 1850.	EN 1855.	EN 1855.	EN 1856.	EN 1857.	EN 1858.
	t. k.	t. k.	t. k.	t. k.	t. k.	t. k.
Pour les voies navigables. . .	1,722,000,000	2,164,000,000	2,177,000,000	2,502,000,000	2,460,000,000	1,788,000,000
Pour les chemins de fer. . .	555,000,000	380,000,000	1,578,000,000	1,854,000,000	2,189,000,000	2,888,000,000
CE QUI DONNE UN TONNAGE MOYEN PAR KILOMÈTRE :						
Pour les voies navigables, environ.		185,000	186,000	196,000	187,000	154,000
Pour les chemins de fer, environ.		927,500	514,000	527,000	520,000	511,000
Différence.		41,000	128,000	151,000	155,000	157,000

Il résulte de ce tableau :

Que de 1850 jusqu'en 1856 inclusivement la masse des transports sur les voies navigables a augmenté chaque année;

Qu'elle a augmenté également sur les chemins de fer, mais dans une proportion beaucoup plus élevée, ce qui tient à ce que la longueur des chemins de fer exploités s'est accrue, tandis que celle des voies navigables est restée sensiblement constante;

Que de 1856 à 1858 cette masse de transports diminuait sur les voies navigables, tandis qu'elle augmentait sur les chemins de fer, résultat qui s'explique moins par la supériorité des chemins de fer comme voie de communication que par l'achèvement de tronçons qui relient entre elles les différentes parties du réseau.

Il résulte encore du tableau de M. Minard :

Que le transport *kilométrique* a toujours été supérieur pour les chemins de fer, et que la différence en faveur des voies ferrées a été en augmentant beaucoup plus rapidement de 1850 à 1855 pour les chemins de fer que pour les canaux, et que, constante ou à peu près, pendant les années 1855, 1856 et 1857, elle a considérablement augmenté en 1858, malgré les faveurs accordées par l'État aux voies navigables.

Lorsque les deux voies rivales mettent en communication les mêmes régions de provenance et de destination, les faits que nous venons d'exposer peuvent donner une idée de la répartition des transports, répartition que bien des circonstances peuvent modifier, et plus particulièrement les tarifs, la nature des marchandises transportées, l'intérêt plus ou moins grand qui s'attache à la rapidité des voyages, etc., etc.

Quelle que soit la nature des transports, le réseau des chemins de fer présente sur celui des voies navigables un avantage marqué pour les longs parcours, en ce sens que les trajets peuvent toujours s'y effectuer sans rompre charge, tandis que, dans l'état actuel des choses, le réseau des voies navigables peut être assimilé à un réseau de chemins de fer composé de plusieurs sections de largeur de voie différente.

Chemins de fer et canaux en Belgique. — En Belgique, comme en Angleterre, un vaste réseau de voies navigables se trouve en pré-

sence d'un réseau non moins complet de chemins de fer; les canaux, bien différents des canaux anglais, sont dans les conditions les plus favorables pour les transports à bon marché, tandis que les chemins de fer sont imparfaits. Mais, les canaux étant exploités par le gouvernement aussi bien que les chemins de fer, il ne saurait y avoir concurrence réelle entre les deux voies de communication. Le gouvernement n'a aucun intérêt à ce que le chemin de fer absorbe les transports que le canal peut effectuer. Ainsi, lorsque la Compagnie du chemin de fer du Nord en France, pour lutter avec la navigation, réduisait ses tarifs, pour les grosses marchandises, à 5 centimes 1/2, sans droit spécial pour expédition, la direction des chemins de fer belges maintenait les siens à 6 centimes, avec un droit fixe de 0^f,90 pour l'expédition.

Ajoutons que les canaux belges ont été construits anciennement à moins de frais qu'ils ne le seraient aujourd'hui.

Chemins de fer et canaux aux États-Unis. — Aux États-Unis, comme en Belgique et en Angleterre, les canaux sont égaux en nombre et en développement aux chemins de fer; mais, si l'on jette un coup d'œil sur la carte des voies de communication de ce pays, on ne tarde pas à reconnaître que les chemins de fer y ont été rarement construits parallèlement aux canaux.

Une ligne importante de railways a cependant été établie de l'est à l'ouest parallèlement au grand canal Érié. Nous espérons trouver dans l'étude des produits de ces deux voies de communication perfectionnées de nouveaux éléments pour la comparaison de leur puissance respective; mais quel n'a pas été notre désappointement, en ouvrant l'ouvrage de M. Stucklé sur les voies de communication aux États-Unis, d'y lire qu'un acte législatif *interdit au chemin de fer le transport des marchandises pendant le temps de la navigation.*

S'il est un canal cependant qui semble pouvoir se passer d'une pareille protection contre la concurrence d'un chemin de fer, c'est le canal Érié, qui, lorsqu'il aura été amélioré comme on a projeté de le faire, aura 21 mètres de largeur à sa surface, et 2^m,10 de profondeur, les écluses mesurant 55 mètres en longueur et 5^m,40 en largeur.

En Pensylvanie, la lutte s'est engagée pour le transport des bouilles entre le Reading-Railway et le canal Schuy-Kill, et là encore c'est une victoire de plus des railways sur les canaux que nous avons à enregistrer.

Le canal de Schuy-Kill, dit M. Stucklé, a trouvé un concurrent redoutable dans le Reading-Railway; aussi la Compagnie du canal fait-elle aujourd'hui tous ses efforts pour tenir tête à cette concurrence en augmentant les dimensions de ses travaux et en introduisant l'usage des remorqueurs à vapeur.

M. Stucklé émet, à la vérité, l'opinion que le canal de Schuy-Kill perfectionné finira par écraser la concurrence du chemin de fer, mais il résulte de renseignements que M. Michel Chevalier a reçus d'Amérique, et qu'il a bien voulu nous communiquer, que le chemin de fer au contraire a remporté la victoire sur le canal, et encore faut-il observer que le chemin de fer, construit légèrement, ne permet pas l'emploi de machines puissantes.

Le chemin de fer, en 1855, a, d'après une lettre du célèbre ingénieur Robinson à M. Michel Chevalier, transporté 2 millions de tonnes environ, lorsque la circulation sur le canal ne dépassait pas 900,000 tonnes.

Le grand nombre d'écluses du canal de Schuy-Kill, sur une longueur de 160 kilomètres, n'a pas permis d'employer avec avantage les remorqueurs à vapeur.

Tous ces résultats avaient été prévus par M. Robinson, que l'on avait traité d'insensé quand il entreprit de construire un chemin de fer pour lutter avec les voies navigables.

Le chemin de fer, en alimentant de charbon, en toutes saisons, les nombreuses manufactures de Philadelphie, est devenu pour cette ville la source d'un immense accroissement de prospérité. Philadelphie aujourd'hui lutte d'importance avec New-York.

Dans l'État de New-Jersey, nous trouvons aussi un canal parallèle à un railway, celui de Delaware, sur une partie de son parcours; et le Raritan, canal parallèle au Camden-Amboy-Railway. Le canal est placé dans des conditions exceptionnellement favorables pour le transport de la marchandise, car il a 25^m,50 de largeur à la ligne d'eau et porte les bateaux de rivière. Les actionnaires ont

jugé prudent, cependant, de s'associer avec ceux du chemin de fer.

Conclusion. — *La pratique et le raisonnement s'accordent donc pour prouver que, dans l'état actuel de l'industrie, et à moins que la navigation à vapeur sur les canaux ne fasse de nouveaux progrès, les spéculateurs ne sauraient sans imprudence entreprendre l'établissement de nouveaux canaux, et que ce serait de la part du gouvernement faire un mauvais emploi de la fortune publique d'en autoriser l'exécution.*

Est-ce à dire qu'il faille combler les canaux déjà établis, et qui sont parallèles à des chemins de fer? Nullement. Un grand nombre vivent et vivront du produit des transports que continueront de leur confier les grands établissements industriels qui, groupés sur leurs rives, se sont, comme le dit avec justesse M. Teisserenc, associés pour ainsi dire à leur fortune¹.

Quant à ceux moins nombreux qui n'ont pas cette ressource, ils pourront soutenir la concurrence des chemins de fer tant que leurs frais spéciaux ne s'élèveront pas au-dessus des frais correspondants pour les chemins de fer. Car, aujourd'hui que le capital est engagé, l'intérêt de ce capital peut être réduit à sa plus minime fraction avant que les propriétaires soient forcés de renoncer à l'exploitation de ces voies de transport.

Le gouvernement voulût-il, dans l'intérêt du commerce, abaisser les frais de transport sur certaines lignes, il le ferait en payant aux Compagnies de chemins de fer, à titre de subvention, une partie des sommes qu'il consacrerait à l'amélioration des anciennes voies navigables ou à la création de voies nouvelles, avec bien plus d'avantage qu'en exécutant de nouveaux travaux dans le but de faciliter les transports par voies navigables.

Services divers rendus par les canaux. — Nous n'avons jusqu'à présent étudié les canaux que comme moyens de transport; nous ne devons pas terminer ce chapitre sans signaler aussi les éminents services que, dans quelques circonstances particulières, ils rendent à d'autres titres.

Souvent une bonne partie des frais de construction des canaux

¹ Nous avons déjà indiqué que les canaux du Nord avaient, en 1858, transporté jusqu'à 1,750,000 tonneaux parcourant toute leur longueur. (Tableau de M. Minard.)

est couverte par la plus-value des marécages qu'ils dessèchent, et où l'on ne pourrait établir des chemins de fer qu'avec un grand surcroît de dépense. La Hollande et nos riches départements de Flandre sans les canaux ne seraient que d'inferts marais. Les canaux perçoivent dans certaines localités, principalement dans les pays méridionaux, des droits assez considérables d'irrigation ou de prise d'eau pour les usines. Ainsi, d'après M. Huërne de Pommeuse, en 1794, la partie construite du canal d'Aragon produisait 55,000 fr. de droits de navigation et 525,000 fr. de droits d'irrigation, et fertilisait environ 100,000 de nos hectares de terrain.

Le canal construit par Adam de Craponne, sous François I^{er}, remarquable par son habile direction, passe sous plusieurs aqueducs, fait tourner les roues de quantité d'usines, et a fertilisé une plaine de 24 lieues carrées que sa stérilité avait fait appeler *Campus lapidus*. L'Italie est sillonnée de canaux d'irrigation auxquels elle doit sa fertilité, mais dont malheureusement une petite partie seulement sont navigables.

On amène encore, au milieu des canaux à pente, de l'eau potable pour les besoins et l'embellissement des villes. Le canal de l'Ourcq, qui doit en fournir 4,000 pouces à la ville de Paris, vend le mètre cube à raison de 50 fr. par an.

Mais n'oublions pas aussi que dans quelques cas on a beaucoup de peine à empêcher les canaux construits dans des terrains perméables d'inonder des propriétés voisines. Les filtrations du bassin de la Villette ont causé de grands ravages dans de riches cultures et de beaux établissements. Le canal du Centre, bien que construit par M. Gauthey, l'un des plus habiles ingénieurs du siècle dernier, perdait dans l'origine toute son eau en vingt-quatre heures. Enfin, d'autres fois, les canaux, au lieu d'amener de l'eau à des prairies ou à des usines, les privent du strict nécessaire.

Les canaux sont, comme les grandes rivières, d'excellentes lignes de défense. Leurs talus sont convertis en remparts sur lesquels on dresse des batteries. Le maréchal Soult, à la tête de trente mille hommes seulement, tint en échec une armée de soixante mille, parce qu'il était par le canal du Languedoc. Le canal de Saint-Denis, quoiqu'il n'était pas encore sans eau, fut pris pour ligne de défense lors de la

bataille de Paris. En Flandre, ces mêmes canaux, qui fertilisent et assainissent le pays, tout en facilitant l'approvisionnement des places de guerre, servent à en inonder les alentours. Les canaux de Moeres, Bergues et Furnes, avant qu'une paix désastreuse nous eût forcés de détruire les beaux ouvrages qui protégeaient la ville de Dunkerque, donnaient, comme le canal royal militaire en Angleterre, et celui de Croydon en Écosse, abri à des bâtiments de 200 à 500 tonneaux. Ces mêmes canaux produisaient des classes énergiques qui nettoyaient le port et l'ont approfondi de 15 pieds en neuf ans.

Rivières. — *La navigation des rivières, des lacs et de la mer, n'étant plus, comme celle des canaux, grevée généralement de l'intérêt d'un capital de construction, est, dans certains cas, plus économique et peut opposer une concurrence redoutable aux chemins de fer.* Aussi voyons-nous la Seine, malgré ses nombreux détours, lutter, pour le transport des marchandises, avec les chemins de Rouen et du Havre¹. La Saône, entre Châlons et Lyon, partage le tonnage avec le chemin de fer parallèle; mais on ne saurait en conclure que les rivières sont toujours capables de rivaliser avec les chemins de fer. L'avantage, au contraire, appartiendra le plus souvent à ceux-ci. Elles sont toutes plus ou moins sinueuses, quelquefois parsemées d'écueils, divagantes, torrentielles ou pauvres d'eau, et elles ne deviennent navigables qu'à l'aide de dépenses considérables. Le Rhin, de Bâle à Strasbourg, est tellement rapide, que toute navigation régulière devient impossible. Le Rhône ne soutient la concurrence du chemin de fer de Lyon à la Méditerranée qu'avec une extrême difficulté. Enfin, les bateaux qui descendent la Loire au-dessus de Roanne ne peuvent la remonter et sont dépecés à Roanne; et d'Orléans à Tours même le tonnage du chemin de fer (518,000 tonnes) est bien plus grand que celui de la rivière (125,000 tonnes). De Tours à Nantes il est à peu près le même sur les deux voies. Les lacs, la mer surtout, présentent les chances d'une navigation souvent longue, irrégulière, et périlleuse.

¹ Le tonnage du chemin de fer, cependant, d'après le tableau de M. Minard, a, dans ces dernières années, augmenté plus rapidement que celui de la rivière

Depuis peu de temps on a substitué au halage par les chevaux sur la basse Seine (longueur de 72 kilomètres) le touage par la vapeur. Ce touage se fait aujourd'hui dans d'assez bonnes conditions. Il résulte d'une note qui nous a été fournie par M. Mohndès :

- 1° Que le service se fait avec une grande régularité;
- 2° Que le nombre de bateaux transportés par la Compagnie atteint fréquemment le chiffre de 20 à 25 par jour, le tonnage étant de 1 à 5,000 tonnes;
- 3° Que les avaries sont devenues beaucoup plus rares qu'avec le halage par les chevaux et sont promptement réparées;
- 4° Que le tarif du remorquage est de 1 centime seulement par tonne et par kilomètre.

On pourrait supposer d'après cela que le transport fluvial opéré à l'aide du touage à la vapeur peut devenir redoutable au chemin de fer. C'est une erreur facile à combattre. En effet :

La distance de l'Oise à Paris est de 67 kilomètres. Le mouvement en remonte est de 1,170,000 tonnes parcourant la distance entière.

Ce n'est qu'après beaucoup de sacrifices que le touage à la vapeur s'est substitué au halage. Il a fallu, pour démonter l'association des relayeurs, organiser des relais de chevaux sur l'Oise et sur les canaux. Maintenant l'entreprise est bonne. Toutefois le chemin de fer n'a pas à craindre son extension. Voici pourquoi : de l'Oise à Rouen la distance par eau est de 171 kilomètres, le mouvement en remonte est de 195,599 tonnes donnant lieu à un parcours de 19,165,867 tonnes à 1 kilomètre. Le chemin de fer transporte de Rouen à Paris 670,000 tonnes. Le parcours est de 77,955,259 tonnes à 1 kilomètre.

Le mouvement total est donc de Paris à Rouen de 865,000 tonnes, et en tonnes-kilomètres 85,665,000. Si le touage s'appliquait à tout le mouvement, la recette à 1 centime par tonne serait de 856,650 fr., et, comme la dépense est, à cause de la descente à 0^c,75, il ne resterait que 214,000 fr. pour payer les intérêts du capital.

Or ce capital serait :

Chaîne à 50 fr. le mètre.	5,150,000 fr.
20 bateaux toueurs à 150,000 fr.	3,000,000
	8,000,000 fr.
TOTAL EN NOMBRES RONDS.	

Cela ferait 2 1/2 pour 100 de ce capital; mais, en fait, on n'aurait rien, parce que la distance de Paris à Rouen par eau est de 258 kilomètres, tandis qu'elle n'est que de 154 kilomètres par le chemin de fer, et que le fret, eu égard aux frais de cordes, déchargement, assurance, droits de gavage, de navigation en rivière, droits de quais, frais de bateau, etc., ne pourrait descendre au-dessous de 2 1/2 centimes.

Ce chiffre correspond, pour une distance de 154 kilomètres, à 4^c,44. Le chemin de fer, en outre, peut rendre en deux jours, tandis que le touage exige quatorze jours. Si donc le chemin de fer abaissait les tarifs, bien qu'ils soient de 7^c,7 à 8^c,6 entre Paris et Rouen, il ne resterait qu'un faible trafic à la rivière.

Ce qui est vrai pour la Seine l'est plus encore pour le Rhône, car, si la différence des distances est moindre, le courant est bien plus fort, et le touage serait à la fois plus dispendieux comme intérêt de capital et comme traction. Pour la Saône, dont le courant est si favorable au touage, l'instabilité du lit est l'obstacle sérieux. Il en est de même sur la Loire.

Le touage ne peut davantage lutter sur les canaux avec le halage par chevaux. Il est plus cher à tous les points de vue, établissement et traction.

Avantages des chemins de fer comme voies stratégiques. — On a beaucoup agité la question de savoir si les chemins de fer pouvaient être d'une grande utilité en cas de guerre, comme voies stratégiques.

Napoléon a dit que l'art de faire la guerre consistait en grande partie à savoir réunir, à un moment donné, le plus grand nombre de troupes possible sur un même point. Il ne paraît pas douteux que les chemins de fer ne soient appelés à faciliter la solution du problème, et déjà l'expérience a prouvé leur utilité pour le transport des armées.

M. le comte Daru a objecté à l'usage des chemins de fer comme

voies stratégiques que les armées sont composées non-seulement d'infanterie, mais encore de cavalerie et d'artillerie, et que les chemins de fer se prêteraient difficilement au transport rapide de la cavalerie.

« Le matériel d'un chemin de fer, a-t-il dit, sera généralement insuffisant pour le transport d'un nombre considérable de chevaux. Le débarquement de ces chevaux sera long et difficile. » Nous ne saurions admettre cette objection. Le transport des chevaux peut se faire non-seulement dans les wagons consacrés spécialement à cet usage, mais encore dans la plupart des wagons à marchandises. Nous devons aussi faire remarquer que, nos grandes voies stratégiques étant réunies à Paris par le chemin de ceinture, on pourra toujours, à un moment donné, concentrer sur l'une d'elles tout le matériel des autres. Quant à ce qui est des difficultés que présente l'embarquement des chevaux, il a été prouvé, par des expériences spéciales, qu'elles étaient beaucoup moins grandes qu'on ne l'avait supposé.

On a prétendu que les chemins de fer seraient bientôt détruits ou coupés par l'ennemi. Ils le seraient, sans doute, dans les parties du territoire que l'ennemi occuperait, mais de grandes portions de chemin hors de sa portée serviraient toujours, dans ce cas, à transporter les troupes qu'on lui opposerait.

La guerre d'Orient nous a offert un exemple bien frappant de l'utilité dont peuvent être, en certaines circonstances, les chemins de fer pour l'attaque autant que pour la défense. Le chemin de Paris à la Méditerranée a transporté la plus grande partie de l'armée française et même une partie de l'armée anglaise. Il a été surtout d'une grande utilité pour le transport du matériel. La Russie, heureusement pour les puissances occidentales, est moins bien partagée que la France sous le rapport des chemins de fer. Un chemin de fer existe entre Saint-Petersbourg et Moscou¹; mais, de Moscou, les communications avec le midi de la Russie n'ont lieu que par terre ou par eau. Les transports de troupes par les routes ordinaires, en hiver surtout, sont excessivement difficiles. Avec un

¹ Ce chemin, suivant le *Journal des Travaux publics* de Saint-Petersbourg, a transporté, pendant la guerre de Crimée, 580,000 soldats.

chemin de fer qui se fût trouvé complètement à l'abri des attaques des armées ennemies, le czar aurait pu jeter, presque instantanément, en Crimée, une armée de plusieurs centaines de mille hommes opposant un obstacle insurmontable à la prise de Sébastopol et à l'envahissement du territoire, et rien n'eût été plus facile que l'approvisionnement de cette armée. Félicitons-nous de ce que la Russie n'a pas eu à sa disposition cette arme redoutable, et disons que *les chemins de fer sont un puissant moyen de défense pour le pays qui les possède, plus encore peut-être qu'ils ne sont un moyen d'attaque*¹.

¹ Nous n'avons parlé que des services importants que pourraient rendre en temps de guerre les grandes lignes de chemins de fer; mais on n'a pas oublié ceux d'un ordre moins élevé qu'a rendus le petit chemin de Balaklava. On étudie aujourd'hui, par ordre de l'Empereur, un nouveau système de chemins portatifs qui seraient d'une grande utilité pour faciliter les mouvements d'une armée en campagne.

CHAPITRE II

HISTOIRE ET STATISTIQUE DES CHEMINS DE FER.

EUROPE.

L'histoire des chemins de fer ne forme pas l'une des pages les moins intéressantes de la grande histoire de l'humanité. Elle montre surtout combien les inventions les plus fécondes, les plus merveilleuses, rencontrent de préventions même chez les esprits les plus distingués; mais elle apprend aussi que tôt ou tard les peuples sont obligés de subir la loi du progrès, et les hommes forcés de s'incliner devant la vérité qu'ils avaient d'abord méconnue.

Il y a trente et un ans seulement que la locomotive à grande vitesse a paru sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon et que l'on a entrepris de grandes lignes de chemins de fer, et déjà, malgré la lenteur dans l'exécution pendant les premières années, plus de quinze milliards ont été dépensés en Europe pour l'établissement des railways, et près de six milliards aux États-Unis!

En Angleterre, en France, en Belgique et en Suisse, toutes les localités importantes sont desservies par des voies ferrées. En Russie, en Espagne et en Italie, on travaille activement à l'achèvement de grands réseaux, et déjà des parties importantes sont en exploitation. L'Asie, l'Afrique, l'Amérique méridionale et l'Australie, sont naturellement fort en retard sur l'Europe et sur les États-Unis pour l'amélioration des voies de communication; toutefois ces grands continents ne sont pas tout à fait dépourvus de chemins de fer. L'Algérie possédera dans un bref délai son réseau; l'Égypte compte

la vitesse habituelle des communications. En 1852, deux ans seulement après l'ouverture du chemin de Liverpool à Manchester, on posa la première pierre du chemin de Londres à Birmingham, et déjà en 1854 M. Peel, chef du ministère anglais, terminait un discours au meeting de Tamvort par ces paroles remarquables : « Hâtons-nous, messieurs, hâtons-nous; il est indispensable d'établir d'un bout à l'autre de ce royaume des communications à la vapeur, si la Grande-Bretagne veut maintenir dans le monde son rang et sa supériorité. »

Il ne faut pas croire cependant que la conversion fut générale. Si le succès de ce chemin créa de nombreux partisans de la locomotion par la vapeur et donna immédiatement naissance à de nouvelles lignes plus importantes, les propriétaires de canaux, les fermiers des routes ordinaires et beaucoup d'hommes fermant leurs yeux à la lumière, nièrent encore pendant un certain temps jusqu'à l'évidence. Le parlement anglais même se montra hostile aux chemins de fer. Croirait-on que ce fut en 1842 seulement que le duc de Wellington, fortement impressionné par le terrible accident arrivé en sa présence à son collègue, M. Huskisson, tué par une locomotive, se décida à voyager sur un chemin de fer, et en 1845 que la reine Victoria osa tenter ce nouveau mode de transport ?

Bientôt; après le chemin de Liverpool à Manchester, on entreprit celui de Bristol, et l'Angleterre fut en peu d'années sillonnée de chemins de fer, comme on le voit à l'inspection de la carte ci-jointe. On distingue, au milieu de ces lignes qui se croisent dans tous les sens, la grande artère qui s'étend du sud au nord entre Brighton et Édimbourg, en passant par Londres, Birmingham, York et Newcastle. Sur cette ligne mère s'embranchent, à l'ouest, l'important chemin de Birmingham à Liverpool, auquel viennent se souder les chemins de Londres à Manchester et de Liverpool à Lancastre. Plusieurs lignes transversales relient la mer du Nord à l'Océan : l'une, dans le nord de l'Angleterre, de Sunderland à Carlisle, passant par Newcastle; l'autre, traversant les riches contrées du centre, de Hull à Manchester et Liverpool par Leeds; une troisième enfin, non moins importante, établie entre Douvres et Bristol et passant par Londres et Bath. Un chemin spécial, celui dit *Nort Eastern-Rail-*

way, dessert les contrées de l'est. Des groupes spéciaux, de petite longueur, transportent aux grandes lignes ou aux voies navigables les produits des mines de Northumberland, du Staffordshire, du pays de Galles et des Cornouailles.

En Écosse, où la configuration du sol se prête difficilement à l'établissement des chemins de fer, nous ne remarquons qu'une seule ligne importante : celle d'Édimbourg à Glasgow, et quelques petits chemins de fer employés pour le service des mines.

L'Irlande, où les mêmes difficultés d'exécution ne se rencontrent pas, n'est cependant pas beaucoup plus riche en chemins de fer.

Aucune pensée d'ensemble n'a présidé en Angleterre à la détermination du tracé des railways; mais l'industrie y est si florissante sur presque tous les points du royaume, et le goût de la spéculation y est si développé, que bientôt il ne s'y trouvera pas une localité de quelque importance qui n'ait son chemin de fer. La longueur des chemins exploités dans ce pays au 50 juin 1859 était de 15,762 kilomètres, ce qui représente, en n'ayant égard qu'à la valeur d'émission, l'énorme capital de 7,000,840,000 francs, et ce capital, si l'on construit tous les chemins projetés et autorisés, atteindra bientôt 9 milliards.

C'est au 50 juin 1859 que s'arrêtent les documents officiels publiés au moment où nous écrivons (fin janvier 1861).

A cette époque, les 15,762 kilomètres exploités se répartissaient de la manière suivante entre les trois grandes divisions de la Grande-Bretagne :

Angleterre et pays de Galles.	41,612 kilom.
Écosse.	2,205
Irlande.	1,947
TOTAL.	45,762 kilom.

L'accroissement du réseau avait été, de la fin de juin 1858 à la fin de juin 1859, pour :

L'Angleterre et le pays de Galles, de.	518 kilom.
L'Écosse, de.	94
L'Irlande, de.	150
La Grande-Bretagne, de.	762 kilom.

On a lieu de s'étonner de la longueur des nouveaux chemins construits dans une année en Angleterre et dans le pays de Galles malgré l'étendue du réseau déjà existant.

A George Stephenson, l'ouvrier mineur, appartient l'honneur d'avoir construit le premier chemin à grande vitesse, non-seulement de l'Angleterre, mais du monde entier, celui de Liverpool à Manchester; à Robert Stephenson celui d'avoir continué l'œuvre de son père, établi une partie des lignes les plus importantes de l'Angleterre et présidé à l'étude d'un grand nombre de lignes dans les cinq parties du monde. D'autres ingénieurs et des capitalistes intelligents doivent aussi être cités comme les pères de l'industrie des chemins de fer en Angleterre. Parmi les ingénieurs, nous nommerons Brunel, Wood, Locke, Walker, etc.; parmi les capitalistes ou industriels étrangers à l'art de l'ingénieur, MM. Booth, sir Édward Mac Donnell, directeur du réseau irlandais.

Les grandes lignes, celle de Londres à Bristol surtout, ont été construites avec luxe; leur tracé et la construction de la voie ainsi que celle de leur matériel ont été calculés de manière à permettre d'effectuer les transports aux plus grandes vitesses connues aujourd'hui. Elles ont été toutes établies par l'industrie particulière. Plus loin nous consacrerons un chapitre à la description de ceux de ces chemins de fer qui nous paraissent les plus dignes de fixer l'attention.

Belgique. — Les Belges ont suivi de très-près les Anglais dans l'établissement des chemins de fer. La loi qui décréta la création du grand réseau terminé aujourd'hui fut promulguée en 1854.

Écoutons M. Michel Chevalier mesurant la portée de cette grande œuvre.

« Aussitôt installé, dit-il, le gouvernement de ce pays sentit que, pour s'assurer l'avenir, il devait marquer de son sceau le territoire belge par de grandes entreprises en harmonie avec l'esprit du siècle. En même temps qu'il rattachait à lui toutes les anciennes influences, qu'il ralliait à sa cause les antiques éléments d'ordre et qu'il consolidait la paix intérieure, condition première du bien-être de l'immense majorité, il se lança résolument, mais avec sagesse et sang-froid, dans les innovations que recommandait une politique

non moins conservatrice que progressive. Les chemins de fer étaient déjà en honneur, il crut que par eux il pouvait conquérir une solide popularité et qu'il parviendrait à créer à la Belgique un irrécusable titre d'admission parmi les États européens.

« Toutes ces espérances du gouvernement belge se sont réalisées et au delà. Grâce à cette démonstration de puissance (nous insistons sur le mot, car la force qui enfante des œuvres fécondes est de la puissance tout aussi bien que celle qui couvre de cadavres les champs de bataille), grâce à cet acte décisif, la Belgique, complètement affermie au dedans, a gagné au dehors l'admiration, sinon l'amitié de ses plus hautains ennemis; grâce à ses ministres, en 1854, elle a devancé dans l'œuvre des chemins de fer les grandes monarchies européennes. Elle doit à cette œuvre sa prospérité, elle lui est redevable de sa nationalité elle-même. »

La Belgique doit ses chemins de fer au roi Léopold, à l'initiative des ministres MM. Rogier, Lebeau et Nothomb, MM. Simons et de Ridder, leurs dignes auxiliaires, et à M. Masui, directeur général de l'exploitation. Le roi Léopold a eu le bonheur de voir le réseau commencé et achevé sous son règne. Ce ne sera pas une de ses moindres gloires.

Deux lignes principales, sur lesquelles s'embranchent un grand nombre de tronçons secondaires, la traversent de l'est à l'ouest et du nord au sud. La ligne transversale d'Ostende à Verviers, prolongée jusqu'à Cologne, assure le commerce de la Belgique avec l'Angleterre et l'Allemagne. Celle qui s'étend du nord au sud, d'Anvers à Mons, et qui se prolonge jusqu'à Paris, relie la Belgique à la France et à la Hollande. Une dernière ligne enfin, que l'on doit à la persévérante activité de M. Tesch, ministre de la justice, partant de Bruxelles et passant par Arlon, se lie par l'intermédiaire du réseau luxembourgeois aux chemins de l'Est de la France, et devient le chemin direct ou à peu près de Bruxelles à Vienne.

Les chemins belges et leur matériel ont été conçus dans un tout autre esprit que les chemins anglais. Ils n'admettent pas la même vitesse. Aujourd'hui, certainement, ils suffisent aux besoins du commerce en Belgique; mais il est à craindre pour ce pays que, dans quelques années, ils ne deviennent, si la construction n'en est

pas améliorée, incapables de soutenir la concurrence des chemins français, construits sur le modèle des chemins anglais.

L'étendue du réseau belge (abstraction faite des embranchements industriels) exploité à la fin de 1859, date des dernières publications officielles, était de 1,715 kilomètres, dont 745 kilomètres par l'État, et 968 kilomètres par des Compagnies. On distingue parmi ces derniers le chemin des Flandres occidentales, ceux de Namur à Liège, de Bruxelles à Luxembourg par Namur, d'Anvers à Gand et d'Anvers à Rotterdam.

Sur les 745 kilomètres exploités par l'État, 52 seulement étaient à simple voie.

Les Belges, nos premiers maîtres dans l'art de construire les chemins de fer, ont été aussi depuis quelques années de bien utiles auxiliaires pour nous dans la construction de nos grandes lignes. Ce sont des entrepreneurs belges, MM. Parent et Schaken, assistés d'ingénieurs belges, MM. Chevreumont et Gourdin, etc., qui ont construit une grande partie du chemin de fer de Paris à Strasbourg, la ligne de Mulhouse tout entière et le chemin de Lyon à la Méditerranée. Ils ont aussi exécuté de grands travaux sur le chemin de Lyon et sur le chemin du Nord.

Hollande. — La note suivante sur les chemins de fer hollandais est extraite d'un Mémoire fort intéressant sur ces chemins qui a été rédigé par M. l'inspecteur général du *waterstaat* (ponts et chaussées), Van der Kùhn, et nous a été communiqué avec une extrême obligeance par M. le ministre de l'intérieur des Pays-Bas.

La Hollande a hésité longtemps avant d'aborder franchement l'exécution d'un réseau national. Les voies navigables, si nombreuses dans ce pays, semblaient satisfaire à tous les besoins.

On se contenta dans le principe de l'exécution de deux lignes qui furent exécutées presque en même temps, celle d'Amsterdam à Arnhem, vers le Rhin, et la ligne d'Amsterdam à Rotterdam par la Haye.

C'est le lieutenant-colonel W. A. Bach qui le premier a conçu le projet du chemin d'Amsterdam au Rhin, dans la pensée de protéger, autant que possible, les intérêts du commerce hollandais contre la concurrence du port d'Anvers.

La concession en fut accordée en 1852 à une Compagnie qui, n'ayant pu réunir les capitaux nécessaires, l'abandonna en 1854. Quatre années plus tard le projet de le construire aux frais du trésor fut présenté aux états généraux et rejeté à une grande majorité (février 1858).

C'est alors que le roi Guillaume I^{er}, comprenant mieux les intérêts de la nation que ses propres représentants, se décida à l'exécuter à ses risques et périls au moyen d'un emprunt dont il garantit l'intérêt. Ce fait unique dans l'histoire honore infiniment le souverain éclairé que nous avons nommé.

Les travaux commencèrent immédiatement sous la direction de l'ingénieur en chef du waterstaat, M. B. H. Goudriaan, et furent complétés après sa mort, qui eut lieu en 1842, sous la direction de M. l'ingénieur en chef L. J. Van der Kühn, depuis inspecteur général du waterstaat.

Le chemin de fer d'Amsterdam à Arnheim, long de 92 kilomètres, a été livré à l'exploitation dans son entier le 16 mai 1845.

Cette ligne, à la même époque, fut concédée à une Compagnie anglaise. Il importait de la souder au réseau allemand. Après de longues et difficiles négociations avec la Prusse, une convention fut signée le 10 juillet 1851, et la ligne a été prolongée jusqu'à Emmerich, et mise en rapport avec la seconde ville commerciale de la Hollande au moyen d'un embranchement d'Utrecht à Rotterdam.

La ligne d'Amsterdam à Rotterdam, desservant, outre la ville de la Haye, celles de Harlem, Leyde, Delft et Scheedham, est longue de 84,5 kilomètres. Commencée en 1837 par une Compagnie, elle a été terminée en 1847. Il faut citer, comme en ayant dirigé les travaux, M. W. C. Brade, ancien officier du génie militaire, et M. P. W. Conrad, inspecteur du waterstaat, membre et président de la commission internationale pour le canal de Suez, qui a succédé à M. Brade.

Outre les deux chemins de fer précités, deux autres lignes encore ont été exécutées par des Compagnies, celle de Maestricht à Aix-la-Chapelle, longue de 56 kilom., livrée à l'exploitation le 25 octobre 1855, et celle qui réunit Anvers au Mœrddyck avec embranchement sur Breda, longue d'environ 55 kilomètres, ouverte le 2 mai 1854.

La première de ces lignes a été prolongée jusqu'à Hasselt, où elle vient se relier au réseau des chemins de fer belges. L'autorisation de prolonger le chemin jusqu'à Anvers a été vainement sollicitée du gouvernement belge, qui craignait que cette nouvelle ligne d'Anvers à Aix-la-Chapelle ne fit une concurrence redoutable au chemin de l'État.

De nombreuses concessions ont été accordées de 1845 à 1859, mais la plupart sans effet. Les capitalistes, redoutant la concurrence des voies navigables et le gouvernement n'accordant aucune garantie d'intérêt, refusèrent de prendre part à ces entreprises.

Deux des chemins concédés seulement sont en voie d'exécution, celui de Maestricht à Liège par la rive droite de la Meuse, et la ligne d'Utrecht par Amersforst et Harderwyk.

Le gouvernement hollandais toutefois, bien pénétré de la nécessité de créer un réseau général, porta successivement différentes propositions d'exécution devant les Chambres législatives. Toutes les propositions furent rejetées. Trois ministères avaient successivement échoué dans leurs efforts pour doter la Hollande d'un réseau de chemins de fer, lorsque enfin le ministre de l'intérieur, M. le baron Van Heemstra, et son collègue des finances, M. le baron Van Hall, parvinrent à obtenir au mois d'avril 1860 de la représentation nationale le crédit nécessaire pour créer le réseau *aux frais de l'État*, la question de l'exploitation par l'État ou par des Compagnies étant réservée.

Ce réseau comprend les lignes suivantes :

D'Arnheim à Leuwarden.	166 kilom.
De Harlingen aux frontières de Hanovre.	124
De Groningue à Meppel.	75
De Zutphen aux frontières de Prusse ou de Hanovre.	68
De Maestricht à Breda.	179
De Rosendaal à Helsingue.	74
De Venloo aux frontières de Prusse.	6
D'Utrecht à Bontel.	61
De Rotterdam à Breda.	42
D'Amsterdam au Nieuwedich.	95
Longueur totale.	888 kilom.

nait l'autorisation de construire, pour le transport des charbons de terre, le chemin de Saint-Étienne à Andrieux; MM. Séguin, un peu plus tard, celle d'exécuter le chemin de Saint-Étienne à Lyon, et MM. Mellet et Henry, la permission de relier Saint-Étienne à Roanne par une voie ferrée. Mais, si alors la France marcha un moment sur les traces de l'Angleterre, elle s'arrêta bientôt dans cet élan, et, plus occupée de ses dissensions politiques que du soin de conserver sa position industrielle, elle hésita longtemps avant de procéder franchement et hardiment à la création de ces grandes lignes dont l'immense utilité pour l'avenir du pays est maintenant passée à l'état d'axiome.

En 1852, lorsque, ouvrant le cours de chemins de fer à l'École centrale, nous annonçâmes l'immense révolution que provoquerait dans notre commerce, notre industrie et toutes nos habitudes, la création des chemins de fer, révolution que nous comparions à celle dont l'invention de l'imprimerie avait été suivie, nous fûmes traité d'insensé !... Deux ans après, un membre du ministère français, revenu d'Angleterre après avoir visité le chemin de Liverpool, soutenait à la tribune que les chemins de fer n'étaient bons qu'à servir de jouets aux curieux d'une capitale, ou de moyen de transport dans quelques cas exceptionnels seulement. « Il n'y a pas aujourd'hui, disait-il, huit ou dix lieues de chemins de fer en construction en France, et, pour mon compte, si on venait m'assurer qu'on en fera cinq par année, je me tiendrais pour fort heureux. Il faut voir la réalité : car, même en supposant beaucoup de succès aux chemins de fer, le développement ne serait pas ce que l'on avait supposé. »

« Vous voulez que je propose aux Chambres de vous concéder le chemin de Rouen, nous disait le même membre un ou deux ans plus tard, je ne le ferai certainement pas : on me jetterait au bas de la tribune. »

M. Navier avait étudié un chemin de Paris à Rouen, mais la traction sur ce chemin ne devait être faite que par des chevaux ! Un cours de chemins de fer fut ouvert en 1854 à l'École des ponts et chaussées; on y préconisait aussi l'emploi des chevaux comme moteur, et on n'y traitait nullement des locomotives. Un ministre des

finances prétendait que le prix élevé du fer, en France, serait un obstacle invincible à la construction des voies métalliques, comme si la plus grande dépense des chemins de fer était celle des rails ! Un illustre savant s'effrayait des souterrains inévitables dans le tracé des chemins de fer. « On rencontrera, disait-il, dans les tunnels une température de 8 degrés Réaumur, en venant d'en subir une de 40 ou 45. J'affirme sans hésiter que, dans ce passage subit du chaud au froid, les personnes sujettes à la transpiration seront incommodées, qu'elles gagneront des fluxions de poitrine, des pleurésies, des catarrhes. » Un député des Hautes-Alpes objectait les accidents du sol, plus nombreux en France qu'en Angleterre. « Les remblais, disait-il, glisseront sur le flanc des montagnes. »

Tout est bien changé aujourd'hui. Les chemins de fer sont exécutés ou sur le point de l'être par nos ingénieurs en Autriche, en Italie, en Suisse, en Prusse et en Espagne.

Bientôt une Compagnie composée des plus riches banquiers de Paris, Compagnie formée par deux de nos amis, MM. Mellet et Henry, et par nous-même, ayant annoncé l'intention d'étudier le chemin de Rouen, l'administration des ponts et chaussées, craignant l'intervention de cette Compagnie dans l'exécution même des travaux, demanda aux Chambres un crédit de 500,000 fr. pour faire l'étude de nos grandes lignes, et elle se mit à l'œuvre.

En 1855, une Compagnie fondée par MM. Émile Péreire, Lamé, Clapeyron, Stéphane Mony et Eugène Flachet, sous le patronage de M. James de Rothschild, avait obtenu la concession du chemin de Saint-Germain. En 1856 on commença le chemin de Montpellier à Cette; en 1857 ceux de Versailles, rive droite et rive gauche, ceux de Mulhouse à Thann et de Bordeaux à la Teste. En 1858, des Compagnies furent autorisées à entreprendre les chemins de Strasbourg à Bâle, Paris à la mer, Paris à Orléans et embranchements, et Lille à Dunkerque. Mais ces spéculations nouvelles n'inspiraient encore que peu de confiance. Les concessions des chemins de Paris à la mer et de Lille à Dunkerque furent résiliées en 1840; l'État dut venir en aide aux autres Compagnies, et il con-

struisit lui même les chemins de Lille et de Valenciennes, ainsi que celui de Montpellier à Nîmes.

Ce fut en 1842 seulement que le gouvernement fit adopter par les Chambres une loi qui, malgré ses imperfections, est devenue pour la France l'origine d'une nouvelle ère sociale. Les Chambres, la France entière, comprirent enfin la nécessité de procéder, sans plus attendre, à l'établissement des grandes voies métalliques. Le projet de toutes les grandes lignes ayant été, pour ainsi dire, enfanté en un seul jour, on en a retiré du moins cet avantage qu'elles ont été tracées dans des idées d'ensemble qui n'ont pas présidé à la conception des chemins de fer anglais et allemands.

Les forces isolées de l'État ou de l'industrie eussent été insuffisantes pour une œuvre aussi grande. Aussi ont-elles été appelées à concourir à son exécution. Ralenties en 1847 dans leur marche par une crise financière, et en 1848 par la Révolution de février, les Compagnies de chemins de fer n'en sont pas moins parvenues à accomplir leur tâche.

Les hommes qui ont combattu avec énergie la déplorable opposition faite pendant dix ans par l'administration supérieure à l'établissement des chemins de fer en France méritent d'être nommés. Comme ingénieurs civils, il faut placer en première ligne les frères Séguin, constructeurs de notre premier chemin d'une certaine importance, et plus particulièrement Marc Séguin, inventeur de la chaudière tubulaire; Mellet et Henry, auteurs d'un grand nombre de projets que d'autres plus heureux ont exécutés; Stéphane Mony, l'un des ingénieurs du chemin de Saint-Germain, et son frère, Eugène Flachat; le major Poussin, ingénieur du chemin de Montpellier à Cette, et Claude Arnoux, l'ingénieur inventeur et l'infatigable défenseur d'un nouveau système de véhicules qui a obtenu l'approbation d'un grand nombre d'hommes éclairés. Parmi les ingénieurs des ponts et chaussées, Brisson, dont le concours a été si utile à MM. Séguin; Paulin-Talabot et Didion, créateurs des premiers chemins de fer dans le midi de la France. Parmi les ingénieurs des mines, Beaunier, Lamé et Clapeyron, collaborateurs de Stéphane Mony et d'Eugène Flachat; Fournel, auteur du projet du chemin de Blesme à Gray; Léon Coste, qui n'a pas assez vécu pour voir

l'accomplissement de la grande œuvre dont il avait si bien démontré l'utilité, et feu Bineau, ancien ministre des finances, qui fut l'ingénieur de la première Compagnie de Rouen, et qui a publié un ouvrage remarquable sur les chemins d'Angleterre. Parmi les industriels ou capitalistes, le directeur du chemin de Saint-Germain, Émile Pereire, qui a fourni depuis lors une si brillante carrière; James de Rothschild, le puissant banquier; François Bartholony, le président de la Compagnie d'Orléans; Laffitte, Blomnt, de Lespée et Benoist d'Azy, fondateurs de la Compagnie du chemin de Rouen; Casimir Lecomte. Parmi les publicistes enfin, Michel Chevalier, qui a écrit tant de pages éloquentes sur les chemins de fer, et qui en a si bien deviné l'avenir; Jacob Blum, qui, tout en construisant le chemin d'Épinac, indiquait déjà la direction des grandes lignes qui depuis ont été construites et annonçait leur succès; G. de Pambourg, auteur d'un traité et d'expériences nombreuses sur les locomotives; Minard, le comte Daru, Teisserenc, Jules Burat, Dussard, feu l'ingénieur Cordier, ancien député du Jura; et Adolphe Blaise.

Converti enfin aux chemins de fer, le corps des ponts et chaussées a pris sa large part en France dans leur établissement à l'aide de ses ingénieurs, parmi lesquels nous placerons en première ligne, à la suite de ceux déjà nommés, MM. Jullien, Vallée, Desfontaines, Bazaine, Chaperon, Payen, Onfroy de Breville, Busche, Bande, Schvilgue, Mary, de Sermet, Marinet, Guibal, Jacquiné, Collignon, Thirion, Job, Zeiller et Surrell.

Un seul ingénieur civil français a pu, en présence de la concurrence formidable des ingénieurs de l'État, obtenir la direction des travaux de construction d'une de nos grandes lignes. Cet ingénieur, c'est M. Vuigner, ingénieur en chef de la Compagnie de l'Est, qui a établi la ligne de Mulhouse avec ses dépendances; nous avons pu mieux que personne apprécier son rare mérite.

Si l'on jette un coup d'œil sur la carte des chemins exploités ou en construction, on est tout d'abord frappé de la haute importance des deux grandes voies ferrées qui partagent la France en deux parties : la première dans sa longueur, du Havre à Marseille, en passant par Rouen, Paris et Lyon; la seconde, dans sa largeur, de

Brest à Strasbourg, par Rennes, Paris et Nancy, aussi utiles l'une et l'autre au point de vue de la civilisation et de la stratégie que sous le rapport commercial.

A Paris viennent aussi converger le chemin du Nord, qui, en se soudant à la grande voie du Havre à Marseille, forme le lien entre la mer du Nord et la Méditerranée; le chemin de Paris à Nantes par Orléans, qui, se reliant au chemin de Brest à Strasbourg, occupe une première place parmi nos voies de communication de l'est à l'ouest; celui de Paris à Bordeaux et Bayonne, également par Orléans, qui est la grande voie conduisant en Espagne; et enfin le chemin de Paris à Mulhouse, qui a pour objet principal de favoriser le développement de l'industrie manufacturière en Alsace et d'assurer nos relations avec le nord de la Suisse. Le chemin de Bordeaux à Cette, si utile à tous nos départements méridionaux, et celui de Blème à Gray, artère importante pour le trafic entre le Nord et le Midi et aussi pour nos grandes usines du Centre, méritent aussi une mention particulière.

Nous aurons encore, d'ici à peu d'années, le chemin de Paris à Toulouse, qui partagera, avec celui de Paris à Marseille, le trafic du Nord avec le Midi, et le chemin de Bordeaux à Genève par Lyon.

Ainsi, dans ce système, tous nos ports de mer du premier ordre, toutes nos grandes villes, Dunkerque, Boulogne, le Havre, Cherbourg, Brest, Nantes, Bordeaux, Cette, Marseille, Toulon, Lyon, Rouen, Orléans, Strasbourg, seront desservis par des chemins de fer aboutissant à la capitale. Nos contrées les plus fertiles seront réunies aux marchés qu'elles approvisionnent, nos manufactures aux lieux de consommation de leurs produits. Nos relations internationales aussi seront garanties; il n'est pas un pays voisin dont nos locomotives n'iront toucher la frontière.

On remarquera enfin que l'exploitation de nos bassins houillers les plus riches, ceux de Saint-Étienne, Alais, Anzin, Épinac, est déjà assurée par la construction de voies de fer qui se réunissent aux grandes lignes.

Au 1^{er} janvier 1861, la longueur totale en exploitation était de 9,440 kilomètres, et celle des lignes concédées en construction

de 5,585 kilomètres : la France possédera donc dans quelques années un magnifique réseau de 15,025 kilomètres de longueur développée au moins.

La longueur des chemins livrés à l'exploitation en 1859 n'étant que de 397 kilomètres, et en 1860 que de 245 kilomètres, tandis que, de 1852 à 1859, elle avait été en moyenne annuellement de 650 kilomètres, la construction des chemins de fer en France depuis deux ans s'est ralentie; mais le gouvernement vient de provoquer une plus grande activité de la part des Compagnies, et il est probable que l'accroissement du réseau sera plus grand en 1861 qu'en 1860 et 1859.

Les chemins de fer construits représentent un capital de près de 4 milliards, et ceux qui ont été concédés et qui ne sont pas encore construits un capital d'environ 2 milliards. Ce capital, calculé sur le taux d'émission des actions, s'est déjà considérablement accru, et chaque jour sa valeur tend à augmenter. Quelle source de richesse pour le pays! En Angleterre, les chemins de fer ont aidé à développer un mouvement commercial très-actif. En France, ils ont, dans plusieurs directions, créé ce mouvement à peine existant. D'après les calculs des statisticiens les plus habiles, les produits annuels du chemin de Strasbourg ne devaient pas dépasser 16 millions. Ces produits, dès la première année d'exploitation (1855), ont été de 24 millions; la seconde année, ils ont dépassé 30 millions; la troisième, ils ont atteint 59 millions, et la quatrième 40 millions. Les actions du chemin d'Orléans ont quadruplé leur valeur d'émission, celles du Nord et de Rouen l'ont plus que doublée.

La plupart de nos grandes industries ont éprouvé la bienfaisante influence de la création des chemins de fer. L'industrie minière est devenue tellement florissante, qu'elle est arrêtée dans ses développements par le défaut de bras; l'industrie métallurgique s'est trouvée un moment incapable de fournir aux besoins des grandes Compagnies; les manufactures ont généralement profité de la réduction considérable que les chemins de fer ont opérée dans le prix des transports; l'agriculture a pu, grâce aux chemins de fer, écouler ses produits sur des marchés qu'elle n'avait pu aborder jusqu'alors, et

UNIV. OF
CALIFORNIA

réalisé de grandes améliorations en faisant usage d'engrais, que le plâtre, le guano, etc., que les chemins de fer lui four-
rent à bas prix, et en généralisant l'emploi des tuyaux de drai-
ge, pour le transport desquels les Compagnies ont abaissé leurs
prix à leurs dernières limites.

Les chemins de fer, par la création d'un immense personnel
entraîné à des habitudes d'ordre et de discipline, ont encore exercé
sur nos mœurs une action qui n'a peut-être pas été suffisamment
appréciée.

D'autres ont dit mieux que nous ne saurions le faire leur influence
sur nos relations intérieures et extérieures¹.

Le gouvernement impérial a donné une vive impulsion à l'éta-
blissement de ces admirables voies de communication; il a com-
plétement mieux qu'aucun des gouvernements qui l'ont précédé, tout
parti que l'on pouvait tirer du concours des grandes Compa-
gnies.

C'est sous le gouvernement de l'Empereur que les plus grands
travaux ont été exécutés ou concédés; les chiffres suivants en servi-
ront de preuve.

PÉRIODES.	NOMBRE DE KILOMÈTRES.	
	CONCÉDÉS.	EXÉCUTÉS.
Du 1 ^{er} janvier 1825 au 1 ^{er} janvier 1828.	142	18
— 1828 — 1842.	806	569
— 1842 — 1852.	3,112	2,989
— 1852 — 1858.	9,810	3,882
SOIT EN MOYENNE PAR ANNÉE :		
Du 1 ^{er} janvier 1825 au 1 ^{er} janvier 1828.	28	4
— 1828 — 1842.	58	40
— 1842 — 1852.	311	298
— 1852 — 1858.	1,400	555

Allemagne. — Si les Anglais et les Belges ont précédé les Alle-
mands dans la construction des grandes lignes de chemins de fer,

¹ Voyez les ouvrages de M. Michel Chevalier.

les Allemands, nous regrettons de le dire, ont devancé les Français. C'est ce que prouvent les lignes suivantes, que nous empruntons à un numéro du *Journal de l'Industriel et du Capitaliste*, publié en 1840 :

« L'association des douanes prussiennes se consolide et se fortifie par les chemins de fer qui s'établissent dans différents États de l'Allemagne. Il existe en ce moment de l'autre côté du Rhin environ 800 kilomètres de chemins de fer exécutés ou tout près d'être livrés à la circulation. Outre cela, des projets sérieux promettent à l'Allemagne 1,600 kilomètres de chemins de fer d'ici à quelques années. »

A la même époque, la France ne comptait que 440 kilomètres de chemins de fer. L'Angleterre en avait déjà construit 2,400 kilomètres, et les États-Unis 1,200.

Le premier chemin à locomotives établi en Allemagne est celui de Nuremberg à Furth, construit par un ingénieur français, M. Denis, ancien élève de l'École polytechnique, qui jouit en Allemagne d'une réputation bien méritée; le second, celui de Berlin à Potsdam. De 1850 à 1840, on a étudié en Allemagne un grand nombre de lignes importantes et on en a commencé quelques-unes; mais ce n'est qu'à partir de 1840 que les gouvernements des divers États qui la composent se sont occupés sérieusement de la construction des chemins de fer. Aujourd'hui un vaste réseau s'étend déjà sur tout le pays, et l'activité déployée dans l'exécution répond assez au reproche de lenteur que l'on adresse si souvent à nos voisins d'outre-Rhin.

A l'inspection de la carte, on distingue dans ce réseau :

1° Une grande ligne du nord au midi, entre Stettin et Friedrichshaffen, réunissant la Baltique au lac de Constance, en passant par Berlin, Leipzig, Nuremberg et Augsbourg.

2° Une ligne de Kiel à Trieste, servant de lien entre la Baltique et l'Adriatique, en passant par Hambourg, Berlin, Dresde, Prague, Vienne.

3° Une ligne de l'ouest à l'est, entre Aix-la-Chapelle et Berlin, sur laquelle se soudent, à Berlin, une branche qui se termine à Königsberg, après avoir traversé la Vistule à Dirshau, et une autre

branche qui, passant par Breslau, s'étend jusqu'à Cracovie. Cette grande artère, prolongée d'Aix-la-Chapelle jusqu'aux ports belges d'Anvers et d'Ostende, réunit la mer du Nord à la Baltique, le Rhin à la Vistule.

4° Une seconde ligne transversale, partant de Mayence, passant à Francfort, Cassel, Veimar, Leipzig, Dresde, et aboutissant à Breslau.

5° Une troisième ligne transversale tout récemment livrée à l'exploitation entre Vienne et le Rhin; ligne qui établit la communication la plus rapide de Strasbourg à Carlsruhe, Stuttgart, Augsbourg, Munich, Vienne, Presbourg et Pesth, et deviendra la voie directe de Paris à Vienne, ou, pour mieux dire, de Paris en Orient. Cette dernière ligne se prolonge déjà jusqu'à Baziah, au delà de Belgrade, et à une époque probablement peu éloignée elle se continuera jusqu'à Constantinople. Elle réunit le Rhin au Danube, l'Océan à la mer Noire.

6° La ligne de Pesth-Ofen à Trieste (partie du chemin François-Joseph), qui, dans quelques années, fournira à la Hongrie, à la Transylvanie, à la Gallicie, et même aux provinces russes du sud-ouest, une communication directe et prompte avec l'Adriatique, et assurera un débouché constant aux productions si variées de ces provinces si riches en agriculture et en produits minéraux de toute espèce.

7° Le chemin de Emmerich à Wissembourg par Cologne, Coblenze, Mayence et Manheim, qui, se rattachant au chemin de Wissembourg à Bâle, a remplacé le Rhin comme grande voie de communication entre la Hollande, la Suisse et l'Italie.

Sur ces grandes lignes viennent s'embrancher une infinité d'autres lignes, en sorte que toutes les grandes villes d'Allemagne sont ou seront réunies prochainement par des voies ferrées.

Les chemins allemands sont pour la plupart à une voie, comme l'ont été longtemps les chemins belges. Ils ont été construits avec des rails légers, économiquement, mais beaucoup plus solidement cependant que les chemins américains.

« Le principe posé aujourd'hui dans toute l'Allemagne, la Bavière rhénane exceptée, est celui-ci, disait M. Couche : construction et

exploitation par l'État des lignes d'intérêt général; construction par l'industrie privée des lignes d'intérêt local. » L'Autriche a abandonné ce principe en confiant l'exploitation de ses grandes lignes et l'exécution de plusieurs lignes nouvelles à des Compagnies. C'est que, sans doute, le gouvernement autrichien a reconnu que les Compagnies possèdent une puissance industrielle et une habileté pour l'exécution et l'exploitation que l'on ne peut rencontrer dans une administration publique. En effet, l'administration publique, dirigée ordinairement par des hommes fort capables, mais déjà âgés, n'est pas naturellement progressive; les Compagnies, stimulées par le désir de faire fortune, se plaçant au point de vue commercial et financier, sont bien plus audacieuses, bien plus intelligentes. Elles ne jouent d'ailleurs vis-à-vis du gouvernement que le rôle de grands entrepreneurs, et elles ont assez prouvé, en France, combien elles appréciaient le mérite des ingénieurs de l'État en les appelant à diriger leurs travaux; mais elles peuvent leur offrir des avantages qu'ils ne sauraient trouver dans l'accomplissement de leurs fonctions publiques, et leur confier surtout des pouvoirs incompatibles avec les formes administratives.

Un inconvénient grave enfin de la construction et de l'exploitation par l'État, c'est que l'État se contrôle lui-même, tandis que les Compagnies sont contrôlées par l'État.

L'Allemagne, au 1^{er} octobre 1860, d'après M. le docteur Meyer, comptait 14,454 kilomètres de chemins exploités et un grand nombre en construction. Ces chemins se subdivisaient de la manière suivante entre les différents États :

Empire d'Autriche (Vénétie non comp.).	4,580 kilom.
Prusse.	5,175
Bavière.	1,400
Palatinat.	201
Saxe-Royaume.	680
Saxe-Duchés.	290
Wurtemberg.	556
Grand-duché de Bade.	590
Autres États de l'Allemagne.	1,582

Tous les souverains allemands ont droit à la reconnaissance de leurs sujets pour les encouragements qu'ils ont accordés depuis longtemps aux constructeurs de chemins de fer dans leurs États; mais il faut mentionner surtout l'ancien roi de Bavière, Louis, comme leur ayant donné l'exemple, et le feu roi de Prusse, Guillaume III, qui a laissé par testament un million de thalers (trois millions cinq cent mille francs) à la Compagnie qui se chargerait de construire le chemin de Berlin au Rhin. Le jeune empereur François-Joseph peut être cité aussi comme un des plus ardents promoteurs de l'industrie des chemins de fer en Allemagne.

Nous avons nommé M. Denis comme l'auteur du premier chemin à locomotive construit en Allemagne. Le premier chemin à chevaux avait été établi quelques années auparavant par le chevalier de Gerstner. Parmi les ingénieurs qui ont puissamment contribué à l'établissement des chemins de fer en Allemagne figurent, à côté de MM. Denis et de Gerstner, M. Carl Etzel, qui a projeté et établi le réseau des chemins de fer wurtembergeois, ainsi que le chemin central (Suisse); M. Klein, associé à M. Etzel pour l'exécution de ce réseau, et rédacteur d'un des meilleurs journaux techniques de l'Allemagne; M. Pauli, qui a succédé à M. Denis dans la direction des chemins de fer bavarois et qui a exécuté plus de 4,000 kilomètres de chemins de fer en Allemagne; M. le capitaine Huntz, qui a construit le chemin de Leipzig à Dresde, ainsi que le chemin saxo-bavarois, et qui a contribué puissamment à l'exécution de plusieurs lignes en Allemagne; M. Melline, directeur des chemins de fer de l'État, en Prusse; M. Hentz, le Nestor des ingénieurs prussiens; M. Hartwich, inspecteur principal des chemins de fer prussiens; M. Unruh, qui est également ingénieur prussien; M. Francesconi, qui a été directeur général des chemins de fer de l'État en Autriche, et sous les ordres duquel ont travaillé à l'exécution de ces chemins de fer MM. Negrelli et Gheiga.

Parmi les économistes et hommes d'État dont le nom se trouve plus particulièrement attaché à la création des chemins de fer allemands nous nommerons feu M. Vinter, ministre du grand-duché de Bade, à la mémoire duquel on a élevé une statue près de la gare de Carlsruhe; MM. Kubeck et de Brück, ministres autrichiens;

M. Schlein, ministre wurtembergeois, qui a élaboré le projet de loi en vertu duquel le réseau du Wurtemberg a été entrepris; Von der Pfordten, ministre des travaux publics en Bavière; Von der Heydt, ministre en Prusse; Knapp, ministre des finances et des travaux publics du Wurtemberg; de Dechen, directeur général des mines de Prusse, qui publia, avec M. de Einhausen, avant 1830, un important Mémoire sur les chemins de fer anglais; le célèbre économiste saxon List; M. de Veber, directeur général des chemins de fer de Saxe; M. Hauchecorne, si connu par ses travaux statistiques; M. Bell, directeur, depuis l'origine, du chemin de fer de Mayence à Francfort.

Italie. — Le mérite d'avoir inauguré les chemins de fer en Italie appartient à deux ingénieurs français, MM. Bayard de la Vingtrie et de Vergès, auteurs du chemin de Naples à Nocera, avec embranchement sur Castellamare; celui de les y avoir propagés, aux directeurs ou ingénieurs en chef du réseau lombardo-vénitien, MM. Paulin Talabot et Busche, qui appartiennent également au corps impérial des ponts et chaussées, et à des capitalistes français, italiens et allemands, MM. le duc de Galiera, de Rothschild, etc. Il revient encore au célèbre ingénieur anglais Robert Stephenson, qui a tracé et exécuté le réseau toscan, ainsi qu'aux ingénieurs italiens Miladi, Bolze et Keissler.

Les hommes enfin qui ont pris la plus grande part à l'établissement du réseau piémontais sont M. de Ravel, ministre des travaux publics, auteur du projet de loi pour l'exécution du chemin de Turin à Gènes; M. l'ingénieur Paleocapa, ancien ministre; MM. les ingénieurs Maus, Grandis, Ronconi, Negretti, etc.; Pickering et Henfrey; MM. Laffitte, Bixio, et l'entrepreneur Brassey.

Piémont. Savoie, Lombardie et duchés annexés. — Le gouvernement sarde, se voyant menacé par la concurrence de l'industrie étrangère et ne trouvant alors aucune Compagnie qui voulût se charger du chemin de Turin à Gènes, l'un de ceux qui, en Europe, ont présenté les plus grandes difficultés de construction, l'entreprend résolument, dès 1846, avec ses propres moyens.

Plus tard il encouragea, par des garanties d'intérêt et par des abaissements de droit, la construction des chemins de fer dans ses

États. Grâce à sa coopération éclairée, il s'est formé, depuis quelques années, des Compagnies nationales qui, aujourd'hui toutes à l'œuvre, auront bientôt doté le pays de nombreuses voies de communication rapides.

Parmi ces Compagnies, il faut placer en première ligne la Compagnie Victor-Emmanuel, à laquelle ont été concédés les chemins d'Aix-les-Bains à Saint-Jean-de-Maurienne et Modane, au pied du mont Cenis, se reliant au chemin de Lyon à Genève, à Culoz, et le chemin de Suze à Turin. Ces deux tronçons ne seront séparés que par le mont Cenis, que l'on traversera au moyen d'un souterrain. Une fois le mont Cenis franchi par un chemin de fer, le chemin Victor-Emmanuel établira une communication métallique non interrompue entre la France et l'Italie.

D'après l'*Annuaire des chemins de fer* (1860), la longueur des lignes exploitées en Piémont, en Savoie, dans la Lombardie et dans le duché de Plaisance, était de 1,190 kilomètres, dont 210 en Lombardie, 15 dans le duché de Plaisance, et 967 sur l'ancien territoire du Piémont. A ces 1,190 kilomètres il faut ajouter 213 kilomètres de chemins exploités en Toscane, ce qui porte la longueur totale à 1,405, et, si l'on en déduit les chemins de la Savoie, appartenant aujourd'hui à la France (102 kilomètres), à 1,501 kil.

Parmi ces chemins on distingue : 1° la grande ligne s'étendant entre l'est et l'ouest de Suze par Turin et Milan jusqu'à la frontière vénitienne. Cette ligne se prolonge jusqu'à Venise. 2° Le chemin de Turin à Gênes, dont se détache à Alexandrie un embranchement qui conduit à Plaisance, Parme, Modène et Bologne, avec son embranchement de Plaisance à Milan, et un autre embranchement reliant Alexandrie et Gênes au lac Majeur. 3° Les chemins toscans, établissant une communication ferrée non interrompue entre Florence, Lucques, Pise et Livourne. Du chemin de Florence à Livourne se détache à Empoli un embranchement qui, passant à Sienne, se termine à une petite distance de la frontière des États romains.

Bologne sera prochainement réunie au réseau Toscan par une ligne de Bologne à Pistoie, et à Vérone par une autre ligne desservant Mantoue.

Une Compagnie, dans le conseil d'administration de laquelle a

figuré, au grand étonnement de tous, le président du conseil d'État d'un canton suisse, celui de Genève, a obtenu la concession d'un chemin établi en Savoie, le long des bords méridionaux du lac, chemin qui enlèvera aux chemins suisses de la rive septentrionale une partie du trafic de la France vers l'Italie.

Les projets du chemin de Turin à Gênes ont été rédigés et le chemin a été construit en grande partie sous la direction de M. Maus, le célèbre ingénieur belge qui a établi le grand plan incliné de Liège.

On travaille en ce moment (janvier 1861) aux tronçons de Milan à Pavie et de Pavie à Torreberetti, qui seront achevés, espère-t-on, dans le mois d'octobre 1861. La ligne de Plaisance à Milan pourra être achevée à la fin de la même année, sauf le pont sur le Pô à Plaisance, et on croit que la ligne de Bologne à Ferrare sera achevée en août.

Enfin le gouvernement piémontais vient de concéder un chemin de 267 kilomètres qui doit traverser les maremmes toscanes et romaines, en longeant la Méditerranée; il commence aux environs de Sienne, et n'est qu'un tronçon de la grande ligne, presque entièrement concédée, qui doit, dans quelques années, relier Marseille et Naples, en passant, le long de la mer, par Nice, Gênes, Spezzia, Livourne, Civita-Vecchia, Gaëte, etc.

États romains et napolitains. — Un réseau important a été concédé dans les États romains.

Il se compose des lignes suivantes :

Chemin de Rome à Ancône.	280 kilom.
Bologne à Ravenne.	45
Bologne à Ancône.	203
Rome à la frontière napolitaine.	120
Rome à Frascati.	20
Rome à Civita-Vecchia.	75
TOTAL.	<u>741</u> kilom.

Sont livrés à l'exploitation les chemins de Rome à Civita-Vecchia et de Rome à Frascati. Les travaux sont achevés aussi

sur une partie du chemin de Rome à la frontière napolitaine.

Seront terminés en 1861 les chemins de Bologne à Ancône et de Rome à la frontière napolitaine, en sorte que 500 kilomètres du réseau romain seront alors exploités.

Dans les États napolitains, le chemin de Naples à Nocera, avec embranchement sur Castellamare, est depuis longtemps en exploitation. Ceux de Naples à Capoue et de Nocera à Salerne sont en construction.

Le concessionnaire du réseau romain est un capitaliste français, M. Mirès. Il a été secondé par des ingénieurs de la même nation, MM. Ducros, Collet-Meygret, Larivière, etc.

Suisse. — La Suisse, à première vue, semble de tous les pays le moins propre à la construction des chemins de fer. Ses hautes montagnes, son organisation politique même, semblent de graves obstacles à l'établissement des voies ferrées. Aussi a-t-elle longtemps hésité avant de suivre l'exemple donné par les autres États européens. La concurrence des fabriques étrangères devenant cependant menaçante pour son industrie, et la popularité des chemins de fer, comme moyen de transport des voyageurs, grandissant chaque jour, la Confédération songea à prendre un parti.

C'était en 1852. Déjà quelques essais avaient été tentés sur le sol helvétique. Une Société vaudoise, présidée par M. Perdonnet père, avait, dès 1844, fait étudier, par M. l'ingénieur Fraisse, à ses frais, le chemin de Morges à Yverdun, avec embranchement sur Lausanne, et, quelques années plus tard, M. l'ingénieur Sulzberger obtenait la concession de cette ligne. Une autre Société livrait à la circulation, en 1847, le petit chemin de Baden à Zurich.

Le célèbre ingénieur Robert Stephenson fut, en 1852, appelé pour étudier un ensemble de chemins de fer en rapport avec les besoins et les ressources du pays, et une commission fut nommée pour rechercher les moyens de le mettre à exécution.

Partant du principe qu'il fallait, *autant que possible*, construire les grandes artères dans les vallées et ne s'établir qu'exceptionnellement sur les plateaux, il traça un réseau dont on s'est trop écarté dans l'exécution.

Encouragées par le rapport favorable de cet ingénieur, par les

recherches statistiques de la Commission fédérale, par le succès des Compagnies étrangères et par l'espoir que le perfectionnement des locomotives permettrait de gravir à moins de frais les fortes pentes, de nombreuses Compagnies se présentèrent dans le courant des années 1853, 1854 et 1855, pour l'exécution des chemins de fer en Suisse, et aujourd'hui (1^{er} octobre 1860) 1,051 kilomètres sont en exploitation, et 251 en construction.

Voici, d'après des notes qui nous ont été fournies par M. Koller, ingénieur en chef du matériel au chemin de fer central (Suisse), un tableau indiquant les développements successifs du réseau helvétique dans les six dernières années :

	Concédés.	En construction.	En exploitation.
A la fin de 1855. .	458 kilom.	508 kilom.	210 kilom.
— 1856. .	566	710	340
— 1857. .	720	605	516
— 1858. .	675	505	702
— 1859. .	475	500	944
— 1860. .	445	219	1,051

En laissant de côté une partie des lignes concédées, qui probablement ne seront exécutées que dans bien des années ou ne le seront peut-être jamais, il résulte des indications ci-dessus que la Suisse possédera d'ici peu un réseau de chemins de fer de 1,500 kilomètres, ou environ 600 kilomètres par million d'habitants, proportion qui n'est dépassée que par les États-Unis et l'Angleterre.

Comme fondateurs des chemins de fer en Suisse, on cite feu M. Geigy, président de la Compagnie centrale; M. Escher, président de la Compagnie Nord-Est; M. Kern, ancien vice-président de la même Compagnie; M. Émile Pereire, de Paris; feu M. Speiser, de Bâle; M. Auber, de Genève; feu M. Perdonnet père, les conseillers d'État Louis Blanchenay et Delarageaz, les publicistes Schmidlin, de Bâle, et John Coindet, de Genève, et MM. les ingénieurs Fraisse, de Lausanne; Etzel, du Wurtemberg; Koller, de Zurich; Laurent, de Chavornay; et Ziegler, de Vintherthur.

Si nous étudions la carte des chemins de fer suisses, nous re-

nées. — De 1845 à 1851 on a exécuté quelques lignes secondaires, telles, par exemple, que celle de Langreo à Gijon par Oviedo, ouvrant un débouché au magnifique bassin houiller des Asturies. De 1851 à 1855 on entreprit des lignes plus importantes; mais l'impulsion qu'a reçue la construction des chemins de fer en Espagne ne date réellement que de 1855. Les grandes lignes de Madrid à Saragosse (360 kilomètres), de Madrid à Almansa (556 kilomètres), de Madrid à la frontière française par Valladolid et Burgos (621 kilomètres), de Séville à Cordoue (150 kilomètres), de Xérès à Séville (150 kilomètres), et de Valence à Tarragone (280 kilomètres), ont toutes été concédées en 1855 et 1856.

C'est sous l'influence de M. Lujan, alors ministre des travaux publics, et de M. Cypriano Montesino, directeur général des travaux publics, que ce grand mouvement industriel a eu lieu. M. Lujan est ancien élève de l'École des mines de Paris, et M. Montesino de l'École centrale.

Les noms de nos grands financiers Rotschild et Pereire, qui ont si puissamment contribué à l'établissement des chemins de fer français, se retrouvent encore parmi ceux des fondateurs des lignes principales de la péninsule espagnole. MM. Salamanca, Osma et Guillou ont également joué un rôle important dans la création des voies ferrées espagnoles. Parmi les ingénieurs, nous nommerons M. Pedro Miranda, qui a été ingénieur en chef, directeur du chemin d'Aranjuez; MM. Angel, Retortillo, Meliton Martin, Puigolhers, Campuzano, et l'ingénieur anglais William Green.

Au 1^{er} janvier 1860, d'après l'*Annuaire des chemins de fer français*, dont les renseignements ont été puisés dans l'*Annuaire espagnol*, les chemins de fer en exploitation ou en voie d'exécution en Espagne présentaient une étendue totale de 3,957 kilomètres, savoir :

Chemins en exploitation.	1,212 kilom.
— en construction.	2,078
— à construire.	647
	<hr/>
TOTAL.	3,957 kilom.

Les lignes en exploitation étaient :

Celle de Madrid à Alicante et Tolède.	481 kilom.
— Madrid à Guadalajara.	56
— Almansa à Valence.	156
— Séville à Cordoue.	150
— Séville à Cadix.	155
— Barcelone à Manresa (chemin de Saragosse).	59
— Barcelone à Martorell (chemin vers Perpignan).	27
— Barcelone à Gravilliers (chemin de Tarragone)..	29
— Barcelone à Arenys.	58
— Tarragone à Reus.	15
— Alar-del-Rey à Santander.	51
— Langreo à Gijon.	59
TOTAL.	1,212 kilom.

Parmi les lignes en construction les plus importantes étaient celles :

Du nord de l'Espagne.	655 kilom.
De Guadalajara à Saragosse.	289
De Dueñas à Alar.	100
D'Alcazar à Ciudad-Real.	112
De Saragosse à Pampelune et à Alasasua	182
De Bilbao à Tudela.	247
De Manresa à Saragosse.	301

Les lignes concédées, mais non encore en construction, sont les suivantes :

Albacète à Carthagène.	247 kilom.
Ciudad-Real à Badajoz.. . . .	250
Cordoue à Malaga.	150
Valence à Tarragone.	280

En 1860, 812 nouveaux kilomètres ont été livrés au public, ce

qui porte la longueur du réseau exploité au 1^{er} janvier 1861 à 5,024 kil.

Les lignes ouvertes en 1860 sont les suivantes :

Chemin d'Alcazar à Manzanarès. . . .	50 kilom.
— de Manzanarès à Daimiel. . . .	22
— de Guadalajara à Sadraque. . . .	46
— de Valladolid à Alar (chemin du Nord)..	128
— de Medina à Valladolid.. . . .	42
— San Childrian à Medina.	54
— de Baños à Burgos.	84
— de Manresa à Lerida (ligne de Barcelone à Saragosse). . . .	147
— de Barcelone à Arenys, de Calderàs à Arenys, et d'Arenys à Cordova (ligne de Barcelone à Saragosse).	50
— de Séville à Xérès et Cadix. . . .	105,5
— de Civioles à Barcena (chemin d'Isabelle II)..	16
— de Pampelune à Marillette (chemin de Pampelune à Saragosse)..	65
TOTAL.	<u>785,5</u> kilom.

En 1860, le gouvernement espagnol n'a concédé qu'une seule ligne importante, celle de Cordoue à Manzanarès, longue de 248 kilomètres. Mais un grand nombre de lignes nouvelles sont à l'étude.

On annonce pour le mois d'avril 1861 l'ouverture de la ligne entière de Pampelune à Saragosse, et, pour le mois de juin, celle des 567 kilomètres du chemin de Saragosse à Barcelone.

On voit par les chiffres qui précèdent que dans quelques années l'Espagne possédera un des plus beaux réseaux de chemins de fer de

l'Europe. Les chemins de fer, dans ce pays, sont appelés à rendre de grands services et à un brillant avenir financier. C'est surtout à l'imperfection de ses voies de communication qu'il faut attribuer sa décadence malgré son immense richesse en produits agricoles et minéraux. Les chemins de fer établis, il redeviendra ce qu'il fut jadis, l'un des États les plus prospères de l'Europe.

Qui ne gémirait de voir un pays aussi beau que l'Espagne, un pays habité par une population si intelligente, dépenser ses forces en débats politiques stériles? La construction des chemins de fer, en donnant une autre direction à son activité, mettra fin à ces débats, et sera probablement pour l'Espagne l'origine d'une transformation morale et intellectuelle tout autant que matérielle.

Portugal. — Le Portugal est pauvre en chemins de fer. C'est seulement à partir de l'année 1852, époque de la création d'un ministère des travaux publics dans ce pays, que l'on commença à s'occuper de l'exécution de ces nouvelles voies de communication.

Les seuls chemins en exploitation aujourd'hui sont le chemin de Lisbonne à Santarem (86 kilomètres) et le chemin de Barreiro à Vendas, section du chemin du Sud.

En septembre 1859, M. de Salamanca a obtenu la concession des voies ferrées de Santarem à Badajoz et à Porto. La première doit être livrée à la circulation dans un délai de trois ans, et la seconde dans un délai de cinq ans, à dater du commencement des travaux. Il est question de prolonger la ligne du Sud vers Evora et Beja. Le petit chemin de fer de Lisbonne à Cintra, enfin, est aussi commencé. — Les lignes concédées à M. de Salamanca ont 480 kilomètres de longueur.

On ne cite en Portugal que M. Fuentès parmi les hommes politiques qui se sont occupés de la construction des chemins de fer.

Russie et Pologne russe. — La Russie, si pauvre encore en chemins de fer, a joui cependant d'un des premiers chemins à locomotives construits en Europe, celui de Saint-Petersbourg à Tsarkoeselo. C'est M. le chevalier de Gerstner, ingénieur autrichien, auteur du plus ancien chemin de fer construit en Allemagne, celui de Budweis

à Linz, qui a rédigé le projet de cette ligne de 27 kilomètres seulement, et qui l'a construite.

L'empereur Nicolas comprit bientôt que le rôle que les chemins de fer étaient appelés à jouer dans un grand empire était bien plus élevé que celui que remplissait le chemin de Tsarkoeselo, et il conçut, dès 1840, le projet d'un réseau qui devait établir un lien entre les points les plus éloignés de ses possessions européennes, faciliter l'action du pouvoir central, et exercer une puissante influence civilisatrice sur le pays.

Mais les contrées à parcourir étaient pauvres¹ et mal peuplées; et les ressources du gouvernement n'étaient pas assez considérables pour suffire à l'œuvre. Il fallait donc offrir à l'intérêt privé des avantages qui assurassent son concours dans l'exécution des travaux. A cet effet, l'empereur, non content de garantir aux actionnaires un intérêt annuel de 4 pour 100 et de leur accorder gratuitement tous les terrains traversés faisant partie de ses domaines, a mis, sans aucune condition, à leur pleine disposition tous les bois et matériaux nécessaires à la construction des railways, tout en accordant la libre importation des rails et des machines locomotives, mesure qui, du reste, était conforme aux dispositions patriotiques des maîtres de forges et des industriels de l'empire.

Entraînés par l'exemple de l'empereur, les seigneurs ont voulu concourir à l'exécution d'une œuvre de laquelle la Russie attend de si grands résultats : non contents de l'abandon gratuit de tous les terrains nécessaires à l'établissement du railway, ils ont mis une grande partie de leurs serfs à la disposition des Compagnies jusqu'à l'entier achèvement des travaux.

Mais il n'était pas donné à Nicolas d'accomplir la grande œuvre qu'il avait conçue. Le chemin de fer de Saint-Petersbourg à Moscou, long de 650 kilomètres, et celui de Varsovie à Cracovie, long de 400 kilomètres, ont été les seuls entièrement établis sous son règne. Le chemin de Saint-Petersbourg à Varsovie a été commencé. C'est à son successeur Alexandre II qu'appartiendra l'honneur de compléter le réseau des chemins russes.

Nous ne doutons pas que, secondé par son ministre des travaux

¹ Extrait de l'ouvrage de M. Lobet.

publics, le général Tscheffkine, homme éclairé et laborieux, qui depuis longtemps a fait de l'industrie des chemins en Angleterre, en France et en Allemagne, une étude spéciale, il obtienne un plein succès.

Déjà, et nous sommes fier de le dire à l'honneur de la France, rendant hommage à l'habileté de nos ingénieurs et de nos financiers, il a fait appel à leurs lumières, et un traité a été conclu qui, pour l'avenir, deviendra un gage de paix et d'union, meilleur peut-être encore que le traité signé à Paris par les plénipotentiaires de toutes les puissances européennes.

Le réseau définitivement arrêté aura 4,162 kilomètres de longueur développée, et sera composé de la manière suivante : 1° une ligne de Saint-Petersbourg à Varsovie, longue de 1,249 kilomètres, ligne sur laquelle s'embranchent, à Wilna, un chemin se dirigeant vers la frontière prussienne et allant rejoindre le réseau prussien à Kœnisberg, au moyen d'une voie ferrée que le gouvernement prussien doit pousser à sa rencontre jusqu'à Tilsitt; 2° une ligne de Moscou à Théodosie, en Crimée, sur la mer Noire (1,259 kilomètres); une troisième ligne, longue de 427 kilomètres, de Moscou à Nijni-Novogorod, dont la foire célèbre est l'entrepôt de toutes les marchandises de l'Asie; 3° une troisième ligne s'embranchant sur la précédente à Kursk, chef-lieu d'une province, et centre de l'activité commerciale dans l'intérieur de la Russie, et aboutissant au port de Libau, sur la Baltique, longue de 1,227 kilomètres.

La ligne de Saint-Petersbourg à Varsovie a sa destination spéciale comme ligne internationale : elle réunit la capitale avec le réseau européen des chemins de fer.

La ligne de Moscou à Théodosie (Kaffa) relie Moscou au meilleur port naturel de la mer Noire, où le commerce trouvera les facilités de l'emplacement qui manquent à Odessa; elle communique d'ailleurs avec cette ville par le Dniéper maritime et la mer. Elle traverse les terres Noires sur 700 kilomètres; elle leur offre un débouché facile vers la mer Noire pour les céréales, les graines oléagineuses, les suifs, les lins et chanvres, etc., mais plus important encore vers la Baltique. Elle ramènera vers le Nord le bétail des steppes, les vins de Crimée, les sels de la mer d'Azow, et surtout

les houilles du bassin de Donetz, reconnu et exploité déjà jusqu'au voisinage de Kharkov, appelé à jouer un rôle considérable dans l'avenir industriel de la Russie.

La ligne de Koursk ou Orel à Libau est destinée à devenir une des grandes voies pour l'échange des produits du sol entre les différentes parties si inégalement partagées de l'empire; elle est destinée surtout à porter à la mer Baltique, pour les livrer à l'exportation, les céréales et tous les produits du règne végétal et animal recueillis par la ligne du Sud au centre des terres Noires, et par la ligne de Nijni sur le Volga et ses affluents.

Le port de Libau, plus méridional de 5 degrés et demi que Saint-Petersbourg, n'est obstrué que pendant trois semaines ou un mois par les glaces, tandis qu'à Saint-Petersbourg et Riga toute navigation est arrêtée pendant cinq et six mois. Libau, qui est un port sans importance en ce moment, est donc destiné à devenir le centre d'exportation pour les produits de la Russie, et d'importation pour les produits étrangers. Le gouvernement s'est engagé à faire les travaux d'amélioration du port de Libau, pour qu'ils soient achevés quand le chemin de fer sera prêt à être exploité.

Le port de Libau suppléera les ports de Saint-Petersbourg et de Riga aux époques de la fermeture par les glaces; en outre, l'exportation qui se dirige maintenant sur Mémel et Kœnigsberg viendra y chercher les facilités données au commerce national. Cette double circonstance ajoute donc beaucoup à l'importance de la ligne de Saint-Petersbourg à Varsovie, qui deviendra en même temps une grande voie commerciale.

La ligne de Moscou à Nijni-Novogorod réunit la capitale industrielle de l'empire avec son principal marché, célèbre par les transactions considérables qui s'y font au moment de la foire annuelle; elle met le Volga, artère navigable de 5,600 kilomètres, située tout entière en dehors du territoire propre au réseau concédé, en communication avec Moscou, par la ligne de jonction la plus courte. Un large trafic lui est assuré.

Le capital total de la Compagnie sera de 1,159,000,000 millions de francs, et doit être dépensé en dix ans.

La direction supérieure de cette vaste entreprise est confiée à

M. Collignon, inspecteur général des ponts et chaussées, si connu par ses écrits sur la navigation et par les beaux travaux qu'il a exécutés sur le canal de la Marne au Rhin, ainsi que sur le chemin de fer de Paris à Strasbourg.

Une partie importante des chemins de Saint-Petersbourg à Varsovie, de Saint-Petersbourg à Kœnigsberg et de Moscou à Nijni-Novogorod (frontière d'Asie) est déjà livrée à l'exploitation. Ces trois lignes seront entièrement terminées à la fin de 1861. Celle de Moscou à la mer Noire est moins avancée.

Les chemins russes exerceront non-seulement une immense influence sur le commerce intérieur de la Russie, ils permettront encore l'exportation à l'étranger de 50 à 60 millions d'hectolitres de blé, excédant annuel de la production sur la consommation, qui, faute de voies de communication, ne peuvent être portés à l'extérieur.

On pouvait craindre que la rigueur du climat en Russie fût un obstacle au succès des chemins de fer. Elle sera, au contraire, un des éléments les plus décisifs de ce succès. Le froid n'entrave jamais la marche des trains, comme on est disposé à le croire : la neige n'a interrompu la circulation, en moyenne, qu'un jour tous les ans sur le chemin de Saint-Petersbourg à Moscou. Par contre, les voies navigables sont gelées pendant six mois dans le Nord, et, pendant cette période, le chemin de fer aura le monopole de tous les transports, facilités d'ailleurs par le trainage pour les relations latérales.

Suède. — Les renseignements qui suivent sur les chemins suédois nous ont été transmis avec une extrême obligeance par M. Matthis, ancien élève de l'École centrale, ingénieur au service du gouvernement suédois.

C'est en 1848 seulement que l'on songea pour la première fois à construire des chemins de fer en Suède. Le comte A. E. de Rosen, lieutenant-colonel au corps des mécaniciens de la flotte, demanda, le premier, la concession d'un chemin de fer qui devait mettre en communication les lacs Malare et Hjelmare avec le grand lac Wesern. Cette ligne était longue de 150 kilomètres. Une Compagnie anglo-suédoise, par les soins de M. de Rosen, se constitua sous la dénomination de Compagnie royale du chemin de fer d'Orebro, Arboga, Hult.

La Diète suédoise accorda à cette Compagnie de grands privilèges pour faciliter l'exécution de cette entreprise et en assurer le succès, et garantit un intérêt de 4 p. 100 pendant quinze ans sur le capital de 6,500,000 fr., jugé nécessaire pour la construction du chemin, à la charge pour la Compagnie de commencer les travaux en 1849, et de livrer la ligne à l'exploitation trois ans après.

La Compagnie n'ayant pas rempli ses engagements, la concession lui fut retirée.

En 1852 une nouvelle Compagnie anglo-suédoise se constitua sous la même dénomination que la première, et obtint de nouveau la concession du chemin d'Orebro à Hult, avec cette différence que la garantie de 4 p. 100 devait être maintenue pendant quarante ans, et qu'après cette période la ligne appartiendrait à l'État sans indemnité. Les travaux devaient être commencés avant la fin de 1852 et terminés en décembre 1855; mais bientôt le président de cette Compagnie, après avoir mis en exploitation la section d'Arboga à Orego, seulement longue de 71 kilomètres, annonça qu'elle était dans l'impossibilité de continuer la ligne jusqu'au lac Wessern.

Renonçant au concours des Compagnies, dont on avait tant de raisons d'être peu satisfait en Suède, le gouvernement suédois résolut, en 1854, de construire les chemins de fer aux frais du Trésor. Le roi Oscar soumit alors aux états généraux un projet de loi ayant pour objet l'établissement d'un réseau par l'État. L'établissement d'une ligne de Stockholm à Gothembourg et à Malmö fut voté et immédiatement commencé.

M. Nils Erickson, colonel au corps des mécaniciens, fut nommé directeur de la construction de tous les chemins de fer avec les pouvoirs les plus étendus. C'est à cet ingénieur que l'on devait déjà les magnifiques écluses de Frohatten et plusieurs travaux remarquables. Fils d'un pauvre fermier, Erickson a commencé par être simple ouvrier maçon. Anobli par le roi Oscar, il a été nommé baron par le roi Charles XV. C'est le frère du colonel Erickson qui a inventé la machine calorique essayée dans ces derniers temps.

La longueur des chemins décrétés par l'État en Suède est de 992 kilomètres, se divisant de la manière suivante :

Chemins exécutés par l'État :	}	Ligne de l'Ouest : de Stock-	
		holm à Gothembourg.	454 kilom.
Chemins exécutés par la Compagnie :	}	Ligne du Sud : de Malmö à	
		Falköping.	575
		Ligne d'Orebro, Noza et Ar-	
		boga.	71
		Ligne de Gefle à Fahlun.	92
TOTAL.			992 kilom.

Sont livrés à l'exploitation :

Sur la ligne de l'Ouest : la section de Gothembourg	
à Töreboda.	182 kilom.
— — la section de Stockholm à	
Sodertelje.	50
TOTAL.	212 kilom.

Sur la ligne du Sud : la section de Malmö à Hesse-	
lohn.	83 kilom.
Le chemin d'Arboga à Orebro.	71
— de Gefle à Fahlun.	92
TOTAL.	458 kilom.

Sont en construction aujourd'hui par l'État :

Sur la ligne de l'Ouest : le chemin de Sodertelje à	
Töreboda.	242 kilom.
Sur la ligne du Sud : le chemin de Hesseholm à	
Falköping.	292
ENSEMBLE.	534 kilom.

Sont projetés et seraient construits par l'État :

Une ligne de l'Est de Nässjo (station de la ligne du Sud) à Katherineholm (station de la ligne de l'Ouest) par Linköping et

Norrköping, longue de	208 kilom.
Une ligne du Nord de Stockholm à Robertsholm (station de la ligne de Gefle à Fahlun) par Upsala et Sala, longue de	216
Et de Fahlun à Innsjön, longue de	37
Une ligne du Nord-Ouest devant mettre en communication les lignes suédoises avec les lignes norvégiennes :	
1° De Porla (station de la ligne de l'Ouest) à Eda (frontière de Norvège) par Christinehamn et Arvika, longue de	209
2 De Frovi (station de la ligne d'Orebro-Noza-Arboga) à Brovallen (station de la ligne du Nord), longueur de	103
3° D'Orebro à Asskersund, longue de.. . . .	57
LONGUEUR TOTALE.	<u>850</u> kilom.

Norvège. — Un seul chemin est exploité en Norvège, celui de Christiania à Eidswold, sur le lac Mjosen, long de 85 kilomètres.

Une seconde ligne est en voie d'exécution, celle de Lillastrom (station de la ligne de Christiania à Eidswold) à Kongswing, longue de 96 kilomètres.

Une troisième ligne enfin est seulement à l'état de projet, celle de Kongswings à Eda (frontière de Suède).

La première ligne a été construite par le gouvernement ; la seconde a été entreprise également par l'État, et le dernier Storthing (Diète norvégienne) a voté dans sa dernière session 1,800,000 fr. pour commencer la ligne de Kongswings à la frontière de Suède, mais à la condition que la Diète suédoise décréterait l'exécution immédiate du chemin de fer de Eda à Porla ; la Diète suédoise, voulant terminer les grandes lignes avant de s'occuper des embranchements, a rejeté cette proposition.

Le chemin de Christiania à Eidswold est fort important. Il met un cinquième de la propriété et un quart de la population en communication avec la capitale. Le lac Mjosen est sillonné par des bateaux à vapeur jusqu'à 107 kilomètres de Christiania et établit ainsi une

communication rapide entre les populations nombreuses, les districts les plus favorisés par la nature, par l'industrie, et le littoral de la mer du Nord, avec laquelle les rapports commerciaux étaient jusque-là difficiles et par conséquent onéreux. Cette région comprend, en effet, une des parties les plus accidentées de la Norvège; au premier aperçu, le chemin de fer semblait impraticable, et il a fallu toute l'habileté et toute la hardiesse du célèbre ingénieur anglais Brassey, qui a dirigé les travaux, pour vaincre des difficultés si nombreuses.

Danemark. — D'après les renseignements suivants, fournis par M. le conseiller d'État Rothe, directeur du chemin de fer de Seeland, la longueur des chemins livrés à l'exploitation à la fin de 1860 était d'environ 400 kilomètres, ainsi répartis :

Chemin de Copenhague à Corsoer, d'environ. . .	110 kilom.
Chemin de Flensburg à Tonningen.	75
Avec embranchement à Rendsburg.	3
Et à la ville de Sleswig.	5,5
Chemin de Kiel à Altona (Holstein).	111
Chemin de Rendsburg (station de la ligne de Sleswig à Neamunster (station de la ligne de Kiel à Altona.	34,5
Chemin d'Elmshorn (station de la ligne de Kiel à Altona), par Glückstadt à Itzehoe.	34
TOTAL.	<u>373</u> kilom.

Étaient en voie de construction à la même époque :

Les chemins d'Aarhuus (Jutland), Wiborg, Skive à Struer (port à Lūmpjordens), avec embranchement à Kanders. 160 kilom.

Un grand nombre de lignes nouvelles sont projetées. Celles qui paraissent devoir être exécutées prochainement sont les suivantes :

Chemin de Copenhague par le nord à Helsingor.	64 kilom.
Ligne dans l'île de Fionie, de Nyborg par Oden- see à Middelfort (port d'embarquement pour	
A REPORTER.	<u>64</u> kilom.

REPORT.	64
le Jutland).	79
Avec embranchement à Assems.	18
Ligne de Snoghoc (Jutland) (port de débarquement pour les voyageurs venant de Fionie vers le nord jusqu'à Aarhus.	120
Ligne de Bandos ou de Wiborg par Aalborg à Frédérikstown (port d'embarquement pour la Suède et la Norvège).	217
Ligne de Struer, le long de la côte d'Est du Jutland, par Holstebro, Ringkjøbing, à Bibo.	150
Ligne de Snoghoe vers le sud jusqu'à la frontière du duché de Sleswig.	34
Ligne en continuation de celle du Jutland par le duché de Sleswig jusqu'à Flensburg.	120
Ligne directe par le duché de Holstein entre les villes hanséatiques Hambourg et Lubeck.	67
TOTAL.	869 kilom.

Tous les chemins de fer danois ont été construits par des Compagnies, avec garantie d'intérêt de 4 p. 100 donnée par l'État.

Turquie. — La Turquie possède dès à présent un chemin de fer de 60 kilomètres de longueur, celui de Tschernavoda sur le Danube à Kustendjee, port de la mer Noire. Ce chemin a pour but d'éviter aux bateaux à vapeur le passage des bouches du fleuve, qui est long et dangereux. Il est à désirer que l'on construise dans un bref délai celui de Routschouck à Varna, qui, mieux encore que celui de Kustendjee, abrègerait la navigation sur le Danube et sur la mer Noire, et qui pourrait réunir trois des places les plus fortes du Nord de la Turquie, Routschouck, Schumla et Varna. Enfin nous faisons des vœux pour que l'on se hâte d'établir le chemin de Baziah à Routschouck. Placé sur la rive droite du Danube, il serait, ainsi que le chemin de Routschouck à Varna, fort utile comme voie stratégique, et pourrait desservir au moyen d'embranchements Belgrade et Bucharest. Le trajet tout entier entre Paris ou Vienne pourrait s'effectuer par voies ferrées.

On a étudié pour la Turquie le projet d'un réseau de chemins de fer. Ce réseau, d'après la *Gazette des chemins de fer de Bresson*, comprendrait deux groupes de railways.

Le premier se composerait des lignes de Belgrade à Setovanieza, de Setovanieza à Constantinople par Andrinople, de Setovanieza à Pristnia, de Pristnia à Scutari-Bojana (sur la mer Adriatique), et de Pristnia à Salonique; le second renfermerait les lignes de Bucharest à Vetsevova, frontière autrichienne près d'Orsova; de Bucharest à Varna; de Bucharest à Predial, près de Cronstadt (Esclavonie, Autriche); de Bucharest à la frontière Bukovine, près de Czernowiez. Les points de jonction avec les voies de transit européen seront à Semlin, en face de Belgrade, où aboutira le chemin projeté de Comoni (lignes autrichiennes); à Vetsevova, près d'Orsova, communiquant avec le chemin de Basiashi à Orsova, qui suivra le cours du Danube (lignes autrichiennes); à Predial, près Cronstadt; enfin à Jassy et Czernowiez, sur la frontière de la Moldavie et de l'Autriche.

Ce réseau, ainsi que l'on pourra s'en convaincre en examinant la carte, ne laisse hors de son parcours aucune des places importantes de la Turquie. L'exécution n'en offre aucune difficulté extraordinaire, et les frais de construction seraient amplement couverts par les transports que fourniraient des contrées fertiles, riches en produits agricoles et métallurgiques, et auxquelles il ne manque que des moyens de transport pour les céréales et pour les produits de l'exploitation des gisements métallifères.

En jetant les yeux sur une carte d'Europe, on voit que les chemins de l'Est français, ainsi que les lignes qui conduisent de la frontière de Turquie à Strasbourg, doivent surtout profiter de l'accroissement de circulation qui suivra la création du réseau ture.

Grèce. — La Grèce ne possède encore aucune ligne de fer. Les Chambres grecques ont été saisies d'un projet de chemin d'Athènes au Pirée, long de 4 kilomètres; ne désespérons donc pas de voir bientôt l'espace qui sépare Athènes de Sparte franchi par des locomotives.

AMÉRIQUE SEPTENTRIONALE.

États-Unis ¹. — Les voies de communication par terre, tablisement des chemins de fer, étaient on ne peut plus difficiles en Amérique : il ne pouvait en être autrement dans un pays où les distances à parcourir sont si grandes, et où la main-d'œuvre est à un prix si élevé. Traverser le plus souvent d'immenses forêts vierges pour aller d'un pays à un autre n'était pas facile; au lieu de routes, on préférait ouvrir des canaux et des lacs, cela était praticable, afin de compléter la navigation intérieure et des nombreuses rivières, qui offrait déjà d'immenses facilités; c'est ainsi qu'on a exécuté 8,000 kilomètres de canaux environ.

Le premier railway construit en Amérique, vers 1826, était un petit chemin de 5,000 mètres de longueur, de Boston à Lowell, ayant pour destination le service d'importantes carrières de charbon; plus tard, en 1828, l'ingénieur Wilson commença les travaux du chemin de Philadelphie à Columbia, et, vers la même époque, l'ingénieur J. Knight entreprit celui de Baltimore à l'Ohio. Après on construisit ceux de Charleston à Augusta, Boston à Worcester, Boston et Providence, etc.; mais ce n'est qu'à partir de 1835 que, sous la direction de MM. Robinson, Allen, Trimble et d'autres ingénieurs distingués, furent établies les principales des grandes lignes opérant en même temps le transport de voyageurs et celui des marchandises.

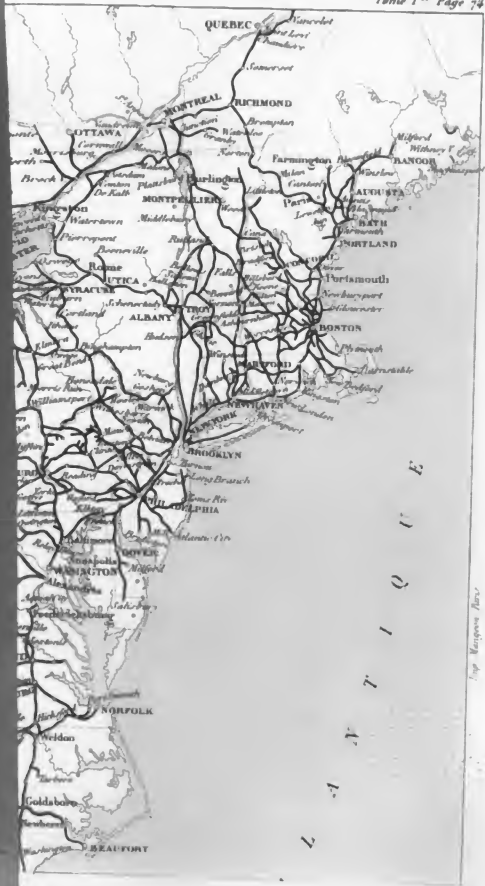
Les Américains comprirent bien vite combien ces sortes de voies prises pouvaient être fructueuses et devaient concourir à la prospérité de leur pays, en offrant des débouchés aux divers produits, principalement aux produits agricoles. De nombreuses Compagnies se formèrent, et on ouvrit des chemins dans toutes les directions.

C'est surtout pendant les dernières années que les chemins de fer ont acquis un développement considérable.

Au commencement de 1852, la longueur totale des chemins

¹ Cet article est extrait en grande partie d'un Mémoire rédigé par M. Grenier, élève de l'École centrale, ingénieur en chef des chemins de fer Guillaume-Luxembourgeois.

² *Histoire des voies de communication aux États-Unis*, par Michel Chevalier.



Map of Eastern States

exploitation était de 17,410 kilomètres ; et celle des chemins en construction de 17,549 kilomètres ; à la fin de la même année, la longueur des chemins exploités était de 21,548 kilomètres, et celle des chemins en construction ou projetés de 20,407 kilomètres ; à la fin de 1855, la longueur des chemins de fer exploités avait atteint 28,515 kilomètres ; à la fin de 1854, 51,842 kilomètres ; à la fin de 1855, 54,513 kilomètres ; à la fin de 1857 enfin, 41,900 kilomètres, ce qui est énorme eu égard à la population, qui n'est encore que de 24 millions d'habitants. A la même époque (fin de 1857), 17,000 kilomètres environ étaient concédés, mais n'étaient pas encore construits.

Les principales artères du réseau circonvoisin sont, de l'est à l'ouest : 1° la grande ligne de Boston à Chicago, par Albonnes, Syracuse, Ultria, Buffalo, etc., avec embranchement sur New-York, Philadelphie, Cincinnati et Saint-Louis du nord au sud ; 2° le chemin direct de Chicago à Portland et Quebec par Toronto, Ottava et Montreal ; la ligne de Portland à Savannah, par Boston, New-York, Philadelphie, Baltimore, Washington et Charleston ; 3° la ligne de Saint-Paul à la Nouvelle-Orléans, par Cairo, avec embranchements sur Chicago, Saint-Louis et Mobile.

La ligne de New-York à Chicago et celle de Chicago à Quebec longent en partie et desservent les grands lacs ; celle de Portland à Savannah réunit les différents ports de l'Atlantique à la ligne de Saint-Paul, à la Nouvelle-Orléans, et joue un rôle des plus importants pour les relations des États de l'intérieur.

Les États de l'Union qui possédaient la plus grande étendue des chemins à cette époque étaient l'État de New-York, 4,597 kilomètres ; l'Ohio, 4,547 ; l'Illinois, 5,604 ; la Pensylvanie, 2,844 ; l'Indiana, 2,558. La Californie n'avait alors que 100 kilomètres de chemins de fer, et le Texas que 64.

On peut dire que les chemins de fer contribuent puissamment au défrichement des forêts et à la colonisation. Toute la masse des émigrants qui arrivent en Amérique se porte en ce moment vers les États de l'Ouest, dans le voisinage des différentes lignes de fer qui viennent d'être terminées ou qui s'y construisent ; aussi les terrains y acquièrent-ils promptement de la valeur.

Au chemin de fer de l'Illinois central, traversant le territoire de l'Illinois dans toute sa longueur, l'État a abandonné à la Compagnie tous les terrains que ce chemin traverse, sur une zone de 9^t,50 de chaque côté; la Compagnie réalisera des bénéfices considérables sur la vente de ces terrains, que l'État concède ordinairement aux particuliers à raison de 12 fr. l'hectare. Le voyageur est surpris de voir avec quelle rapidité des villages et des villes se forment sur le parcours de ces nouvelles lignes; l'accroissement de la population est tel aux États-Unis, que, d'après les calculs et selon les prévisions, le nombre d'habitants ne serait pas moindre de 100 millions avant la fin du dix-neuvième siècle. Le chiffre des émigrations dépasse aujourd'hui 400,000 par an.

Pour donner en passant une idée de la formation rapide de ces villes américaines, il faut citer Cincinnati, située au bord de l'Ohio, ville qui ne date que de soixante années, et dont la population actuelle est de 100,000 habitants. Dix-sept lignes de chemins de fer la traversent en tous sens.

Le prix d'établissement des chemins de fer a varié dans ce pays entre 70,000 et 200,000 fr. le kilomètre. Le prix moyen de tous les chemins construits en 1852 était, matériel compris, de 108,500 fr. Ceux construits depuis n'ont coûté, en moyenne, que 78,500 fr. environ le kilomètre: c'est que ces derniers, généralement à simple voie, ont presque tous été exécutés dans des terrains très-faciles; plusieurs d'entre eux, dans l'Illinois, ont été établis sur le sol naturel sans qu'on ait eu besoin de faire autre chose que des fossés d'assainissement de chaque côté sans employer de ballast.

Dans le Missouri, on a commencé un grand railway qui devra être continué jusqu'à l'océan Pacifique, et mettre ainsi l'Oregon et la Californie en communication immédiate avec New-York. Une portion de ce chemin, à partir de Saint-Louis, est déjà livrée à la circulation; pour sa continuation dans le territoire des Indiens, on se propose de poser d'abord un chemin en bois destiné au transport des matériaux et des ouvriers.

Deux autres lignes sont projetées pour réunir l'océan Atlantique à l'océan Pacifique au travers des États-Unis: l'une dans le Nord,

de Saint-Paul à Vancouver; l'autre vers le parallèle de Fielton à San-Pedro.

La proportion des chemins à double voie aux chemins à simple voie n'était, aux États-Unis, en 1854, que de 7 p. 100. Au 1^{er} janvier 1858 elle avait atteint 16 p. 100.

Comment le gouvernement des États-Unis a-t-il pu créer le vaste réseau de chemins de fer qui sillonne toutes les parties de cette immense agglomération de territoire sans surcharger ses budgets, sans contracter de dettes? Cela est bien simple à expliquer et tient à la nature du pays, dit le *Journal des Actionnaires*¹. Au lieu de subvention pécuniaire, le gouvernement donne aux Compagnies des subventions territoriales. L'ouverture des voies de communication ferrées appelle les populations, provoque le travail, fait naître et développe la production; les terres qui étaient incultes donnent en abondance le riz, le blé, le chanvre, le coton; elles avaient une valeur de 2 dollars à peine (10 fr.); elles se vendent aujourd'hui couramment 12 et 16 dollars (60 et 80 fr.). C'est ainsi que l'État de l'Illinois a pu créer, en très-peu de temps, 690 milles de chemins de fer, et que la Compagnie concessionnaire a pu distribuer à ses actionnaires quatre fois la valeur du capital versé, et leur conserver à perpétuité le privilège de l'exploitation.

Nous ne terminerons pas cet article sur les chemins de fer aux États-Unis, sans dire aussi un mot des *plank-roads*, système de chemins en bois formés de madriers posés à plat sur des longrines, et qui présente aux États-Unis, où le bois abonde, de tels avantages, qu'il ne tardera peut-être pas à remplacer la plus grande partie des voies de communication rurales faites en empierrement.

C'est dans le haut Canada, en 1855, que le plank-road fut employé la première fois à titre d'expérience: on se contenta de poser des planches de 4 mètres sur des traverses, sans aucun principe de construction; l'expérience ayant donné des résultats plus satisfaisants que l'on ne s'y attendait, tant sous le rapport de la facilité de transport que sous celui du faible prix d'entretien, on construisit, en 1857, la route de Salina à Central Square, sous la direction de M. Geddes et de M. Saint-Alvord, qui ont le plus contri-

¹ *Journal des Actionnaires* du 3 janvier 1857.

bué au développement du système des plank-roads dans le Canada.

Après les troubles de 1858, les routes en bois devinrent, sous la direction de M. Hamilton, président de la chambre des travaux, un des perfectionnements à l'ordre du jour, et elles furent alors im portées, avec le plus grand succès, d'abord dans le haut Canada, et ensuite dans le bas Canada.

Mais c'est surtout dans l'État de New-York que ce système a fait le plus de progrès : depuis quatre années seulement que les plank-roads y étaient employés, en 1850, on en comptait dans cet État 3,570 kilomètres ; ils ont été exécutés au prix moyen de 6,186 fr. le kilomètre. A la même époque, il n'en existait encore que 700 kilomètres dans le Canada.

Aujourd'hui on construit de ces chemins dans tous les États de l'Union.

On peut dire que les chemins en bois en Amérique paraissent destinées à alimenter les chemins de fer et les canaux, et qu'ils ne leur sont pas inférieurs dans leurs usages particuliers.

Les chemins en bois rendent de grands services à la population agricole pour les communications avec les villes : ils offrent au fermier l'avantage d'avoir une route en bon état où il peut se servir de son matériel roulant pour transporter en toute saison les produits de sa ferme au marché voisin, et ils ont aussi avec les chemins de fer, et même à un plus haut degré, une telle influence sur les propriétés, qu'ils les font augmenter considérablement de valeur.

Les chemins en bois ne durent guère au delà de huit années.

Canada. — Le Canada ne possédait, en 1847, qu'un seul chemin de fer de 55 kilomètres environ ; en 1855, on y comptait treize lignes, sur lesquelles, au mois de juin, 1,270 kilomètres étaient achevés¹. En 1858, d'après les documents statistiques publiés par le ministère, la longueur des chemins exploités avait atteint 2,450 kilomètres, et 700 autres étaient en construction.

Mexique. — Le chemin de Tehuantepec, en construction depuis les derniers mois de l'année 1858, est un redressement de celui de Panama. Il aura 120 kilomètres de longueur, et fera suite à une navigation fluviale de 160 kilomètres. Il présente, pour les rapports de

¹ *Annuaire des Chemins de fer*, de Chaux.

l'Europe et de l'Amérique avec le Pérou, la Nouvelle-Calédonie, l'Australie, la Chine, le Japon, la Russie d'Asie et la Californie, une économie de dix à quinze jours sur le trajet total. Il réduit de vingt-six jours à quatorze le trajet de New-York à San-Francisco, et place la Nouvelle-Orléans à quatre jours du Pacifique et à onze jours au lieu de vingt de San-Francisco.

Honduras. — Le plus grand obstacle au développement agricole et industriel du Honduras est le manque de bonnes voies de communications intérieures. Un chemin de fer qui traverserait ce pays de manière à réunir, comme le chemin de Tehuantepec et celui de Panama, l'océan Atlantique à l'océan Pacifique, a été dressé pour remédier à cet état de choses. Ce chemin a été concédé, et les études ont démontré qu'il était d'une exécution facile. Mais il ne paraît pas qu'il soit en voie de construction. De grandes difficultés se sont présentées pour réunir les capitaux nécessaires à son exécution.

Costa-Rica. — Les tableaux statistiques publiés à la fin de l'année 1858 par le ministre des travaux publics indiquaient, pour la longueur des chemins exploités dans la petite république de Costa-Rica, 12 kilomètres, et des chemins concédés, 50.

Ile de Cuba. — Cette colonie était déjà riche en chemins de fer, que la mère patrie en possédait à peine quelques kilomètres. Il y existait déjà, en 1854, plusieurs lignes dont la longueur, considérable pour un si petit pays, était de 604 kilomètres. Les revenus de ces lignes, construites en grande partie par les planteurs, étaient énormes. De nouveaux chemins d'une assez grande longueur ont été concédés depuis lors à des Compagnies respectables.

AMÉRIQUE MÉRIDIONALE.

Les chemins de fer sont très-loin sans doute d'avoir acquis les mêmes développements dans l'Amérique méridionale que dans l'Amérique septentrionale. Il ne faudrait pas croire toutefois que les gouvernements de l'Amérique méridionale en aient entièrement méconnu l'utilité. Ils ont fait au contraire et font encore de grands efforts pour en déterminer l'établissement. Presque tous les che-

mins commences, partant des ports de mer, se dirigent vers l'intérieur. Un jour certainement ils iront porter la civilisation jusque dans l'intérieur du pays. Si jusqu'à présent les travaux de construction de ces chemins n'ont marché que lentement, cela tient surtout au défaut de capitaux de la part des gouvernements et au peu de consistance des Compagnies qui les ont entrepris.

Nouvelle-Grenade. — C'est le 28 janvier 1855 que le chemin de fer de Panama, traversant la Nouvelle-Grenade, a été livré à la circulation. Le trajet de l'isthme, qui, dans l'origine, avait demandé jusqu'à dix-sept jours, et que, par les moyens ordinaires, on était parvenu à réduire aux fatigues de trois journées, s'opère aujourd'hui en six heures.

Avant l'établissement du chemin de fer, tout le trafic entre l'Angleterre et les ports du Pacifique s'opérait par le cap Horn, et le trajet de la Grande-Bretagne à la plupart de ces ports exigeait environ quatre mois. Aujourd'hui ce même trajet s'effectue au travers du Mexique en moins d'un mois.

Le chemin de Panama enfin a réduit la durée du voyage de Londres à l'île de Vancouver de six mois à quarante jours, et de Newcastle à San-Francisco de quatre mois à vingt-sept jours.

Les dividendes, pendant les quatre premières années d'exploitation de ce chemin, ont atteint 12 pour 100 du capital engagé, et, l'année dernière, ils ont encore augmenté. Ils ne proviennent pas seulement des recettes du chemin, mais aussi des revenus de 262,000 acres de terre et de l'île de Manzanilla (650 acres) cédés à la Compagnie en toute propriété.

Guyane anglaise. — La Guyane anglaise, d'après les documents statistiques de l'administration supérieure, exploitait, à la fin de l'année 1858, 54 kilomètres de chemins de fer.

Brésil. — Le gouvernement brésilien encourage les entreprises de chemins de fer. Il garantit aux Compagnies un intérêt qui n'est pas moindre de 7 pour 100 (5 pour 100 garantis par le gouvernement, et 2 pour 100 par la province), leur concède une partie des terrains nécessaires à l'établissement du chemin, leur permet l'introduction en franchise du matériel fixe et roulant, ainsi que des approvisionnements, leur assure la propriété des mines

sur une largeur de 52 kilomètres à droite et à gauche de la ligne, les garantit contre toute concurrence dans le même rayon. Il conserve le droit de rachat après trente années d'exploitation, en payant aux actionnaires une somme dont l'intérêt serait représenté par le produit maximum annuel de cinq années choisies parmi les sept dernières.

Les différentes lignes concédées et en construction, en marchant du Nord au Midi, sont les suivantes : 1° chemin de Pernambuco à Agua-Preta, ville de l'intérieur (125 kilomètres); 2° du port de Bahia à Souzaieiro, sur la rivière San-Francisco (125 kilomètres); 3° du port de Rio-Janeiro à la vallée de Parahiba, chemin de don Pedro II (520 kilomètres); 4° du port de Estrella à Petropolis; 5° du port de Santos à Jundihay, ville de l'intérieur, par Saint-Paul (142 kilomètres). La longueur totale des chemins concédés est ainsi d'environ 700 kilomètres.

Le chemin de Pernambuco à Agua-Preta a pour but de desservir de grandes exploitations de coton et de sucre. La Compagnie a la faculté de le continuer jusqu'à un certain point de la rivière San-Francisco, situé au delà des cataractes et en amont duquel cette rivière est navigable jusqu'à 1,600 kilomètres vers l'intérieur du pays.

Une première section de Pernambuco à Villa da Cabo, longue de 29 kilomètres, a été livrée à l'exploitation le 9 février 1858; l'entrepreneur ayant résilié son traité, les travaux ont été interrompus. Les nouveaux entrepreneurs, MM. Waring frères, ont livré la seconde section de Villa da Cabo à Escada (52 kilomètres) le 2 décembre 1860; la troisième sera probablement terminée en juin 1861, et la ligne entière en décembre de la même année.

Le chemin de Bahia à Souzaieiro, ville qui se trouve sur la rive droite de la rivière San-Francisco, est ouvert sur une longueur de 19 kilomètres seulement, à partir de Bahia. L'entrepreneur doit l'avoir terminé en 1863.

Il a pour objet d'ouvrir un débouché aux grandes cultures de coton et de tabac.

Le chemin de Rio-Janeiro à la vallée de Parahiba (chemin de don Pedro II) est destiné à augmenter la production de la vallée de Parahiba, riche en café. La première section, longue de 75 kilomè-

tres, commencée en 1855, est seule terminée. On est arrêté à l'extrémité de cette section par les énormes difficultés que présente la section suivante.

Le chemin du port de Estrella à Petropolis part du port de Estrella, placé sur la baie de Rio-Janeiro, et se termine au pied de la montagne sur laquelle se trouve Petropolis, à environ 4 kilomètres de cette ville. Il est exploité depuis cinq ans. Sa longueur est de 60 kilomètres environ.

Le chemin de Santos à Yundahy enfin, bien que concédé en 1857, est à peine commencé.

Paraguay. — Le Paraguay n'est pas resté aussi étranger aux progrès de la civilisation qu'on pourrait le supposer. Comme les pays voisins, il est entré dans la voie des améliorations.

Les chemins de grande communication y sont à la vérité peu nombreux et mauvais; mais M. Lopez, successeur du docteur Francia, s'occupe de les améliorer. Il a décidé l'exécution du chemin de fer de Villa-Rica, dont la première section est terminée et la seconde fort avancée.

Pérou. — Le Pérou ne possède encore que deux chemins de fer; le petit chemin qui réunit le port de Callao à la ville de Lima, et le chemin du port d'Arica à la ville de Tacna.

Le chemin d'Arica à Tacna a 64 kilomètres de longueur. C'est par cette voie que sont transportés toutes les laines, ainsi qu'une quantité considérable d'étain et de café, apportés du centre de la Bolivie à dos de lamas.

Ce chemin a été construit par une Compagnie anglaise avec une garantie de 5 3/4 pour 100 accordée par le gouvernement.

De nouvelles lignes sont à l'étude. Nous extrayons le passage suivant d'une lettre qui nous a été écrite par M. Schreiner, l'un des ingénieurs du gouvernement péruvien :

« 26 mars 1860. — J'ai été commissionné par le gouvernement pour faire l'étude d'un chemin de fer de Yca à Pisco, le meilleur port de mer du Pérou (80 kilomètres de longueur), et voilà deux mois que j'arpente dans tous les sens un désert de sable brûlant; pour y trouver un passage sur un terrain solide, c'est-à-dire sans sable mouvant. Mon plan de direction est terminé; la ligne sera

parfaitement praticable. Sur le rapport que j'en ai fait, le maréchal de Castille, président, a décidé que le gouvernement avancera la moitié des fonds nécessaires pour cette construction; la Compagnie d'Yca avancera l'autre moitié.

« C'est bien dommage qu'il soit impossible d'établir une voie de communication facile entre l'intérieur du pays et le littoral. Les Cordillères des Andes ne se percent pas comme les Alpes. L'intérieur est d'une fertilité et d'une richesse incroyables et ne peut exporter ses produits. »

Chili. — Le gouvernement chilien comme le gouvernement brésilien accorde aux Compagnies concessionnaires de chemins de fer des garanties d'intérêt, des franchises de droit, et leur livre gratuitement une partie des terrains.

Dès 1849 ce gouvernement autorisait une Compagnie à construire le chemin du port de Caldera à Copiapo, ayant pour principal objet le transport du produit des mines; en 1852, ce chemin, long de 81 kilomètres, était livré au public. Les produits ont rapidement augmenté, car, de 1,077,000 francs qu'ils étaient en 1852, ils se sont élevés, en 1858, à 3,660,000 francs, et les revenus sont aujourd'hui de 16 pour 100 du capital engagé. Il a été prolongé au delà de Copiapo jusqu'au cœur des mines d'argent, à 38 kilomètres de Copiapo, en sorte que la distance totale de Caldera aux mines est de 119 kilomètres.

Le chemin du port de Valparaiso à San-Yago a été commencé il y a déjà plusieurs années. On y a dépensé des sommes considérables, il n'est pas encore terminé.

De San-Yago on étudie un chemin qui doit s'étendre du Nord au Midi sur une longueur de plus de 600 kilomètres. Ce chemin traverserait l'un des pays les plus riches du monde.

Un chemin a été concédé aussi dans la province de Coquimbo. Ce chemin doit partir de la *Cuesta de Peralta*, et s'étendra jusqu'à la ville de la Serena, avec embranchements vers tous les principaux centres d'exploitation des mines. De la Serena le chemin sera prolongé jusqu'au port de Coquimbo, et de Coquimbo vers les fonderies de cuivre de la Compagnie de la *Mexican and south american Company* à Herraduro et Tongoy. La traction sur ce chemin

se ferait d'abord avec des chevaux, la Compagnie étant autorisée à employer plus tard des locomotives.

Le gouvernement chilien a accordé encore une autre concession ayant pour objet la continuation du railway de Pabellon à Chama-cillo, ouvert en février 1859.

État de Buenos-Ayres. — On ne trouve dans l'État de Buenos-Ayres qu'une seule ligne exploitée, celle dite chemin Occidental. Ce chemin de petite longueur est terminé depuis deux ans; il donne de beaux revenus.

Une autre ligne de Buenos-Ayres à San-Fernando, par Belgreno et San-Isidro, longue de 24 kilomètres, a été concédée en 1856. Les travaux ont languï pendant longtemps, mais ils sont poussés aujourd'hui avec activité.

AFRIQUE.

Algérie. — Il n'existe encore aucune voie ferrée en Algérie; mais un décret récent de l'Empereur vient de décider l'exécution immédiate des chemins :

De la mer à Constantine..	77 kilom.
D'Alger à Blidah..	48
D'Oran à Saint-Denis-du-Sig..	55
TOTAL.	178 kilom.

et l'exécution éventuelle des lignes suivantes, y compris les prolongements jusqu'à la mer des deux chemins ci-dessus :

Les prolongements du chemin de fer d'Alger à Oran d'une part, jusqu'au port d'Alger, et de l'autre jusqu'au port d'Oran ou de Mers-el Kebir;

Le chemin de Constantine à Alger;

- de Blidah à Saint-Denis-du-Sig;
- de Bougie à Sétif;
- de Bone à Constantine, par Guelma;
- de Tenez à Orléansville;
- d'Arzeco à Mostaganem;
- d'Oran à Tlemcen, par Sainte-Barbe et Sidi-bel-Abbès.

Dans l'exposé des motifs du projet de loi nous remarquons le passage suivant :

« Les chemins de fer algériens présenteront au point de vue de la domination et de la sécurité du pays des avantages stratégiques considérables. Ils permettront des concentrations de troupes rapides et faciles, et restreindront le nombre des établissements militaires, dont la dissémination est une cause de faiblesse et de dépenses. Le prix des transports aujourd'hui si élevé en sera réduit de beaucoup, et l'administration de la guerre sera la première à recueillir les fruits de cette économie. Enfin, s'il est un moyen de diminuer l'effectif de l'armée en Algérie, il n'est pas douteux que les chemins de fer ne soient l'un des éléments les plus importants de cette diminution. »

L'accomplissement de cette grande œuvre consolidera notre puissance en Algérie mieux encore que les victoires de nos armées.

Parmi les hommes qui ont étudié le plus sérieusement la question des chemins de fer algériens, nous placerons au premier rang l'ancien gouverneur maréchal Randon, et le général du génie Chaubaud-Latour.

Égypte. — L'Égypte, grâce au pacha actuel Sard-Pacha, a entrepris résolument la construction des chemins de fer et donné ainsi un exemple qui sera, nous l'espérons, bientôt suivi par la Turquie et les autres pays musulmans.

Ce n'est pas sans étonnement sans doute que nos lecteurs apprendront que l'Égypte possède 477 kilomètres de chemins exploités.

Le plus ancien de ces chemins, celui d'Alexandrie au Caire, a été construit par des ingénieurs anglais sous la direction de feu Robert Stephenson.

Le dernier livré au public, celui du Caire à Suez, est l'œuvre d'un ingénieur français, Mouchelet Bey, secondé par des ingénieurs indigènes. C'est à l'obligeance de cet ingénieur que nous devons la note suivante sur les chemins égyptiens construits ou encore à l'étude.

Chemins construits.

Chemin d'Alexandrie au Caire, long de. . .	214 kilom.
Chemin du Caire à Suez.	145
Embranchement d'Alexandrie à Mariout (champ de manœuvre à l'ouest d'Alexandrie). . .	27
Embranchement de Bahah à Zagazig. . .	35
— du Caire au palais Casser-el-Nil. . .	5
— de Tantah à Kifoe-Zeyat. . .	18
Chemin de Tantah à Samanoude.	55
TOTAL des chemins exploités.	<u>477 kilom.</u>

Chemins à l'étude.

De Tantah à Galaet-Saidich par Chobin et Manais (barrage du Nil).	72 kilom.
De Samanoude à Talkra, vis-à-vis Mansoura sur le Nil.	18
De Zagazig à Mansoura par Aboukebir et Sim- bellacoiné.	80
De Galaet-Saidich à Kelivieb (barrage du Nil) pour joindre le Caire.	10
TOTAL des chemins à l'étude.	<u>180 kilom.</u>

Le chemin d'Alexandrie au Caire est presque entièrement de niveau. Ses courbes n'ont jamais moins de 400 mètres de rayon.

Le chemin du Caire à Suez, bien qu'établi au travers du désert, présente des variations de pente assez sensibles, de zéro à sept millièmes.

Cap de Bonne-Espérance. — En juin 1860 on a livré à l'exploitation le chemin du Cap à la ville de Durban, construit par les colons eux-mêmes.

ASIE.

Asie Mineure. — On s'occupe toujours de l'étude d'un chemin de fer qui s'étendrait de Swedia et d'Antioche à l'Euphrate. On obtien-

drait ainsi l'union de la Méditerranée avec le golfe Persique, au moyen de voies ferrées jusqu'au fleuve, et de bateaux à vapeur sur le fleuve. Mais cette entreprise présenterait pour sa constitution financière des difficultés non moins grandes que celles que l'on rencontrerait pour l'exécution du chemin.

Une Compagnie anglaise a entrepris la construction d'un chemin de Smyrne à Aïdin; aujourd'hui un tiers du chemin seulement est fait, et déjà le capital social est englouti. La Compagnie toutefois ne renonce pas à son entreprise. Elle sollicite l'autorisation d'émettre des obligations pour créer le capital nouveau nécessaire à l'achèvement du chemin.

Perse. — Les chemins de fer commencent à faire invasion en Perse; il est vrai que pour le moment il n'est question que de chemins de fer à traction de chevaux; mais nous ne doutons pas que le schah, après avoir mieux étudié la question, ne leur substitue des chemins à traction de locomotives. Voici ce que nous lisons dans la *Gazette de Bresson* sur les chemins projetés en Perse : « Le journal russe *l'Indicateur* fait mention de quelques projets dont il est question en Perse, et qui sont d'une importance majeure pour le commerce de la Turquie. Il s'agit d'un chemin de fer à traction de chevaux de Téhéran à Tauris, pour faciliter le mouvement des passagers et des marchandises vers la mer Noire, puis allant à Trébisonde, ou par Crivan et Tiflis à Poli. Une compagnie se charge de ce chemin en demandant au gouvernement persan une garantie de 6 pour 100, et le schah y consent, à la condition que le chemin deviendra dans dix ans propriété de la couronne.

Inde. — Les renseignements suivants sont extraits d'un article publié par M. A. Bonneau dans l'*Annuaire encyclopédique pour 1860* : Lord Dalhousie, prédécesseur de lord Canning (1848-1856), a su le premier entrer franchement et largement dans la voie des améliorations. Avant lui, on ne pouvait guère voyager dans l'Inde qu'en palanquin : il créa des routes et fit compléter depuis Calcutta jusqu'à Delhi et Agra l'artère centrale, le *Great trunk road*, sur lequel on vit bientôt circuler les voitures et les diligences; il fit établir des lignes de bateaux à vapeur sur le Gange, inaugura le système postal et créa 645 kilomètres de lignes télégraphiques.

L'Inde lui doit un travail non moins utile et plus grandiose; nous voulons parler du magnifique canal du Gange, dont la largeur navigable est de 850 kilomètres ou de 1,400 avec les embranchements navigables. Il a 51 mètres de large, 5 de profondeur, 48 écluses (dams et locks), 207 ponts, et l'on trouve sur son parcours 10,000 ghauts ou lieux de bains pour les indigènes. Une multitude de canaux s'en détachent pour fertiliser 594,000 hectares de terre. Lord Dalhousie enfin donna l'élan à la construction des chemins de fer, et, lorsqu'il descendit du trône de Calcutta, trois grandes lignes avaient été commencées. La première, partant de Calcutta, doit atteindre Agra, Delhi, Lahore; la seconde, partant de Madras, jettera, à travers la presqu'île du Dekan, deux longs embranchements qui, traversant la presqu'île dans toute sa largeur, iront rejoindre la mer l'un à Bombay, et l'autre à Beypour ou Baipour, sur les côtes de Malabar, au sud de Calicut; la troisième, dont Bombay est le point initial, ira rencontrer à Jubbulpour, au nord de Nagpour, non loin des bords de la Nerbadda, un grand embranchement occidental du chemin de fer de Calcutta à Delhi. Un autre railway, se développant parallèlement au golfe de Cambaye, fera communiquer Bombay avec la ville d'Ahmedabad en touchant à Surate et Baroda, pour projeter plus tard un embranchement sur Indore, et de là sur Agra et Delhi. On a inauguré au mois de mars 1859 un railway de Moulta à Amretsir, par Lahore; un autre, franchissant le haut Indus, courra de Lahore à Peshawer dans l'Afghanistan; on a autorisé, pour desservir le royaume d'Oude, une ligne qui se reliera à l'East-Indian-railway; un petit chemin de fer de 50 milles de longueur, et qui sera terminé en mars 1861, mettra Calcutta en rapport avec un port excellent qu'on va créer à l'embouchure de la Moutla pour faciliter les transactions commerciales aux navires qui ne peuvent pénétrer dans l'Hougly, dont l'embouchure est difficile. Mentionnons enfin le chemin de fer du Sinde qui fait communiquer Hayderabad avec le port important de Karatchi (Kurrachée), et nous aurons tracé l'ensemble des voies ferrées qui sillonneront bientôt le vaste empire indo-britannique.

En 1855 on n'avait pu livrer encore à la circulation que trois

tronçons aboutissant à Calcutta, à Madras, à Bombay, et formant une longueur totale de 350 kilomètres; à la fin de 1859, malgré l'insurrection, 1,200 kilomètres étaient entièrement terminés, et les travaux étaient énergiquement poussés, de sorte que des sections considérables seront ouvertes cette année et dans les années suivantes. Les chemins de fer indiens sont exécutés par des Compagnies auxquelles le gouvernement garantit un intérêt de 5 pour 100. Les capitaux engagés dans ces entreprises, et ainsi garantis, s'élevaient, au mois d'avril 1859, à la somme de 40 millions de livres ou un milliard de francs. Les lignes autorisées formaient une longueur totale d'environ 8,000 kilomètres (5,000 milles), car le prix de revient n'est dans l'Inde que de 8,000 livres (200,000 fr.) par mille (1,609 mètres), grâce à l'extrême bon marché de la main-d'œuvre. Quand ces chemins de fer seront terminés, tous les centres importants de l'Indoustan pourront communiquer entre eux avec la mer et avec les grandes voies navigables du pays. Les produits de l'agriculture et de l'industrie, trouvant ainsi des débouchés faciles, s'accroîtront dans des proportions considérables. Un autre résultat capital aura été atteint en même temps : la rapidité de la circulation et l'extrême facilité des transports permettront de réduire de beaucoup le chiffre de l'armée; on a même pensé qu'on pourrait sans danger se contenter de 100,000 indigènes et de 50,000 Européens, ce qui produirait une économie bien supérieure à l'intérêt garanti par l'État aux Compagnies des chemins de fer; on parviendrait de la sorte à réduire à 6,500,000 livres les dépenses militaires, qui s'élevaient à 12,561,000 livres avant l'insurrection, et qui atteignent aujourd'hui le chiffre énorme de 21,000,000 livres, avec un effectif de 110,000 Européens et de 207,000 indigènes.

Lorsque le railway de Madras à Beypour aura été livré à la circulation, ce qui doit avoir lieu en décembre 1860, le voyage de Calcutta à Londres, qui était de 47 jours en 1848, et qui est aujourd'hui de 30, ne demandera plus que 25 jours. Quant aux communications télégraphiques, elles relient déjà l'Inde à l'Europe au moyen du câble électrique de la mer Rouge qui a été posé en 1859-1860, et dans l'Inde même elles formeront bientôt un réseau

de 6,000 milles (9,600 kilom.), dont 4,000 milles (6,440 kilom.) devaient être achevés au commencement de 1860. Le prix de revient de ces lignes est en moyenne de 1,250 fr. par mille, et le gouvernement retire de la transmission des dépêches un bénéfice net qui va toujours croissant, tandis que les revenus des chemins de fer sont loin de couvrir l'intérêt des sommes dépensées.

Si les exportations de l'Inde ont quadruplé dans les vingt dernières années, et si les importations ont plus que doublé dans la même période, la création des routes et des chemins de fer permet de fonder sur l'avenir des espérances véritablement magnifiques. Les Anglais d'ailleurs exécutent et projettent d'autres travaux d'utilité publique, qui auront pour résultat d'accroître largement les ressources du pays, le bien-être des populations, et par suite les revenus du gouvernement. La navigation fluviale a été établie sur l'Indus comme sur le Gange et sur la Djamna.

OCÉANIE.

Australie. — Tous les chemins de fer d'Australie sont exécutés par le gouvernement. Un seul, celui de Geelong à Melbourne, était la propriété d'une Société d'actionnaires. Il a été racheté par l'État.

Les chemins australiens tirent leurs principaux revenus des transports de minerais d'or et de cuivre. Le capital se compose entièrement du produit de l'impôt sur la propriété et de la vente de terres.

Ils sont tous établis dans l'Australie méridionale, et pour la plupart dans la province Victoria. En voici la liste :

1° Les chemins de Melbourne à Geelong, de Kilda à Brighton, de Melbourne à Hobsom's bay, de Melbourne à la rivière dite *Murray-river*, et de Geelong au mont Ballavet (tous ces chemins se trouvent dans la province Victoria);

2° Les chemins de Port-Adélaïde à Adélaïde, et d'Adélaïde à Kapunda.

Le chemin de Melbourne à Geelong réunit l'importante ville de Melbourne à la ville de Geelong, placée sur la baie désignée sous le nom de Port-Philipp. Ce chemin est en exploitation. Un petit embranchement pris sur cette ligne et conduisant à Williamstown, ville

située sur la baie de Port-Philipp comme Geelong, a été ouvert le 17 février 1859. Le chemin de Kilda à Brighton est aussi un chemin de peu de longueur réunissant la ville de Kilda à celle de Brighton, située, comme les villes de Williamstown et de Geelong, sur la baie de Port-Philipp. Le chemin de Melbourne à Hobsom's bay conduit de Melbourne à la baie de Hobsom; il est, comme le précédent, livré au public.

Le chemin de Melbourne et Murray-river est le plus important de ceux que le gouvernement a entrepris tant sous le rapport de l'étendue du pays qu'il traverse que sous celui de l'importance des communications qu'il ouvrira avec l'intérieur du pays. 37 kilomètres sont déjà livrés à l'exploitation de Melbourne à Sumbury. Cette partie de la ligne construite en plaine était une des plus faciles. A Sumbury, les difficultés commencent. Aujourd'hui l'entrepreneur concentre tous ses efforts sur deux points, l'un près de Sumbury, l'autre à Rig-Hille, à 160 kilomètres de Melbourne.

Le chemin de Geelong au mont Ballarat, qui sera d'une longueur à peu près égale à celle du chemin de Melbourne à Geelong, a pour objet de faciliter l'exploitation des riches mines d'or de Ballarat. Les travaux de cette ligne sont poussés avec toute l'activité possible, eu égard aux difficultés qu'ils présentent; mais ils exigent beaucoup de temps encore pour être terminés.

Les chemins de Port-Adélaïde à Adélaïde et d'Adélaïde à Kapunda, dans l'Australie méridionale, sont ouverts. Leur longueur totale est de 76 kilomètres.

On étudie une nouvelle ligne longue de 160 kilomètres de Kapunda vers l'intérieur.

DE LA LONGUEUR DES CHEMINS DE FER ÉTABLIS COMPARÉE A LA SURFACE
DES PRINCIPAUX PAYS.

Nous croyons ne pouvoir mieux terminer ce chapitre sur la construction des chemins de fer dans les différents pays qu'en comparant leur longueur à la surface territoriale de ces pays et à leur population.

Le tableau suivant fournira les éléments de cette comparaison.

TABLEAU DES CHEMIN

— 71

PARTIES du MONDE.	ÉTATS.	SUPERFICIE en MÈTRES CARRÉS.	POPULATION.	POPULATION par MILLIÈRE CARRÉ.	
EUROPE.	Grande-Bretagne ¹	4,501	17,951,000	11,914	
	{ Angleterre	767	2,888,000	5,765	
	{ Écosse	827	6,516,000	7,876	
	{ Irlande				
	France ²	5,217	55,799,000	6,862	
	Belgique	294	4,590,000	15,612	
	Allemagne	{ Autriche ³	6,710	59,800,000	5,951
		{ États confédérés ⁴	2,570	17,450,000	7,554
		{ Prusse	2,790	17,202,000	6,166
	Italie	{ Sardaigne	450	4,369,000	10,160
		{ Principautés ⁵	150	1,119,000	8,607
		{ Toscane	220	1,818,000	8,265
		{ États romains	450	5,007,000	6,682
		{ Naples	800	6,845,000	8,548
	Hollande ⁶	360	3,451,000	9,586	
	Suisse	292	2,595,000	6,165	
	Russie	55,500	60,125,000	1,124	
	Espagne	4,750	15,715,000	2,900	
	Portugal	950	5,499,000	5,762	
	Danemark ⁷	370	1,945,000	5,412	
Suède et Norvège	7,600	4,917,000	647		
Turquie	4,870	15,500,000	5,185		
Grèce	460	904,000	1,965		
Corse et autres îles	1,551	11,156,000	8,257		
	TOTAUX	97,269	276,915,000		

¹ Situation fin 1856 pour la Grande-Bretagne. En 1857, on a livré à l'exploitation 850 kilomètres.
² Non compris la Corse.
³ Y compris la Hongrie et la Lombardie.
⁴ Royaumes de Bavière, de Saxe, de Hanovre et Wurtemberg. Grands-duchés de Bade et de Hesse et villes libres.
⁵ Modène, Parme et Plaisance.
⁶ Y compris le grand-duché de Luxembourg.
⁷ Y compris le duché de Schleswig, et non compris le duché de Holstein. (Voir l'Allemagne, États)

LE FER DU GLOBE

157 —

LONGUEUR TOTALE		LONGUEUR par MYRIAMÈTRE CARRÉ.		LONGUEUR par MILLION D'HABITANTS.		CAPITAL ENGAGÉ dans LES SOUMINS DE FER	
EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS	CONCÉDÉS.
kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	francs.	francs.
10,220	15,550	6.7	10.5	569.9	866.1	5,519,208,000	8,586,821,000
1,910	2,650	2.4	5.4	661.5	910.6	1,051,476,000	1,420,505,000
1,690	2,920	2.0	5.5	259.5	448.1	912,667,000	157,691,000
7,458	15,870	1.4	2.7	208.5	587.4	5,755,685,000	6,980,909,000
1,511	2,215	5.1	7.5	529.1	482.1	586,476,000	566,050,000
5,077	8,572	0.5	1.2	89.08	210.5	867,504,000	2,050,402,000
4,584	5,895	1.8	2.5	251.5	558.6	979,824,000	1,517,085,000
4,985	6,749	1.7	2.4	272.9	592.5	1,055,684,000	1,488,782,000
806	1,140	2.0	2.6	184.4	260.9		
"	50	"	4.5	"	268.0		
246	528	1.1	1.4	155.5	180.4	289,242,000	727,645,000
20	744	0.04	1.6	6.6	247.4		
107	724	0.1	0.9	15.6	107.2		
572	1,157	1.0	5.2	107.8	529.5	126,246,000	586,865,000
517	2,166	1.5	5.5	215.4	905.1	120,260,000	505,857,000
1,178	5,455	0.02	0.1	19.6	90.4	255,600,000	1,086,600,000
670	5,689	0.1	0.7	48.9	254.6	252,569,000	1,210,054,000
64	459	0.07	0.5	85.5	125.4	12,800,000	87,800,000
210	480	0.4	0.8	110.5	252.6	42,000,000	96,000,000
166	296	0.02	0.04	55.8	60.2	55,200,000	59,200,000
"	1,550	"	0.5	"	98.07	"	506,000,000
"	10	"	0.2	"	11.06	"	2,000,000
"	"	"	"	"	"	"	"
10,661	76,125					15,578,241,000	26,814,024,000

des trois royaumes.

des de Nassau, Brunswick, Mecklembourg, Holstein, Saxe-Cobourg; principautés médiatrices

principales

PARTIES du MONDE.	ÉTATS.	SUPERFICIE en KILOMÈTRES CARRÉS.	POPULATION.	POPULATION par KILOMÈTRE CARRÉ.
AMÉRIQUE	SEPTENTRIONALE. États-Unis. Canada (Amérique anglaise). Mexique. Honduras. Costa-Rica. Antilles. Autres États.	84,000	25,192,000	276
		6,500	2,710,000	450
		25,000	7,485,000	299
		500	556,000	712
		400	215,003	537
		1,500	4,600,000	127
		108,600	8,195,000	195
	TOTAUX.	224,100	45,755,000	
	MÉRIDIIONALE. Nouvelle-Grenade. Vénézuélas. Guyane anglaise. Brésil. Pérou. Chili. La Plata (Confédér. Argentine). Autres États.	15,700	2,565,000	172
		10,800	945,000	87
		2,400	128,000	529
		90,800	6,075,000	66
		15,500	2,106,000	136
		3,200	1,459,000	449
15,270		806,600	53	
TOTAUX.	169,600	21,247,000		
AFRIQUE.	Algérie.	4,950	2,550,000 ¹	518
	Égypte.	16,800	6,050,000	360
	Cap de Bonne-Espérance.	5,200	700,000	550
	Autres États.	262,070	140,700,000	536
	TOTAUX.	287,000	150,000,000	
ASIE.	Indes orientales.	154,000	176,000,000 ²	1,515
	Turquie d'Asie.	17,540	16,000,000	912
	Autres États.	288,460	400,000,000	1,386
	TOTAUX.	440,000	592,000,000	
OCÉANIE.	Australie.	50,000	2,000,000	40
	Autres États.	30,000	7,000,000	233
	TOTAUX.	80,000	9,000,000	

¹ La population civile européenne y figure pour un chiffre de 160,000. — ² La population civile

LONGUEUR TOTALE		LONGUEUR par MYRIAMÈTRE CARRÉ.		LONGUEUR par MILLION D'HABITANTS.		CAPITAL ENGAGÉ dans LES CHEMINS DE FER	
EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.
kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	francs.	francs.
61 900	58,000	0.5	0.7	1,806.7	2,509.2	5,529,910,000	7,576,670,000
2 450	5,160	0.2	0.5	580.1	1,117.9	482,156,000	627,000,000
"	960	"	0.04	"	128.2		
"	240	"	0.4	"	674.1		
12	50	0.05	0.1	55.7	252.5	90,600,000	284,445,000
790	640	0.4	0.5	568.7	400.0		
"	"	"	"	"	"		
14,952	65,050						
80	80	0.005	0.005	55.8	55.8		
"	100	"	0.009	"	105.8		
54	54	0.01	0.01	265.6	265.6		
95	610	0.001	0.006	15.8	100.4		
64	79	0.004	0.005	50.0	57.5	86,149,000	275,492,000
152	544	0.04	0.1	115.2	25.9		
50	240	0.002	0.01	49.5	297.5		
"	"	"	"	"	"		
465	1,487					5,988,815,000	8,545,607,000
"	860	"	0.2	"	517.2		
700	747	0.01	0.02	49.6	50.7		
80	80	0.02	0.02	114.2	114.2	76,000,000	257,400,000
"	"	"	"	"	"		
790	1,287						
1 290	7,520	0.006	0.05	6.6	41.5		
"	550	"	0.01	"	21.8	175,498,000	5,526,852,000
"	"	"	"	"	"		
1 300	7,670						
170	511	0.006	0.006	65.0	155.5	56,586,000	154,895,000
"	"	"	"	"	"		
150	511						

Expenses y figure pour un chiffre de 1,550,000.

Les données consignées dans le tableau qui précède ont déjà trois années d'existence ; nous n'en possédons pas de plus récentes pour un grand nombre de pays. Le tableau suivant offre, pour d'autres, le résumé de données plus fraîches.

ÉTATS	LONGUEUR TOTALE.		LONGUEUR PAR MYRIAMÈTRE CARRÉ.		LONGUEUR PAR MILLION D'HABITANTS.	
	EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
France, 1 ^{er} janvier 1861.	9,440	15,025	1.8	2.8	265.6	419.6
Allemagne, <i>id.</i>	13,728	»	1.15	»	184.5	»
Suisse, <i>id.</i>	1,051	1,500	5.5	5.1	457.9	625.0
Espagne, <i>id.</i>	2,096	4,245	0.5	0.9	154.4	309.8
Angleterre, fin juin 1859.	11,612	16,260	7.7	10.8	648.6	905.5
Ecosse, <i>id.</i>	2,205	5,025	2.9	5.9	759.6	1080.5
Irlande, <i>id.</i>	1,947	5,519	2.4	4.0	299.5	510.6
Belgique, 1 ^{er} juin 1860.	1,714	»	5.8	»	572.6	»

CHAPITRE III

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LA DISPOSITION DES VOIES EN FER

SUR LES MOTEURS QUI Y SONT EMPLOYÉS
ET SUR LES AVANTAGES DES CHEMINS DE FER AU POINT DE VUE TECHNIQUE.

Disposition des voies. — L'effort qu'il faut exercer pour remorquer un véhicule sur une route est d'autant moindre que la surface sur laquelle se meuvent les roues est plus dure et plus unie.

Les Romains attachaient une grande importance à la construction de la chaussée de leurs routes. Ils la composaient de matériaux si résistants et lui donnaient une épaisseur telle, que l'on trouve encore fréquemment des portions de routes dans un état parfait de conservation. La partie extérieure de ces chaussées sur laquelle s'opérait le roulement se composait en général de blocs de pierre d'assez forte dimension assemblés avec soin.

Dans les temps modernes, on a dû renoncer à un mode de construction si dispendieux; aussi a-t-on composé les chaussées de matériaux de plus faible dimension, mais qui, par cela même, offraient au roulage une surface moins unie.

Le roulage sur ces nouvelles routes étant devenu beaucoup plus difficile que sur les anciennes routes romaines, on imagina d'abord de faire porter les roues sur deux files parallèles de pierres dures et bien dressées, tandis que les chevaux marchaient dans l'espace compris entre ces bandes de pierres; puis, voulant augmenter encore la dureté du chemin, on fut conduit à les remplacer par des plaques ou des bandes de fonte ou de fer.

Telle a été l'origine des chemins de fer ou chemins garnis de files parallèles de bandes de fer ou de fonte fixées solidement au terrain.

Les chemins de fer sont souvent désignés sous le nom de *railways*. Ce mot, emprunté à la langue anglaise, est formé de deux autres : *way*, chemin, et *rail*, bande. Ainsi railway ne signifie pas seulement un chemin de fer, mais un chemin composé de files parallèles de bandes de matière quelconque, un chemin composé, par exemple, de bandes parallèles de pierre, comme il en existe encore à Milan et à Londres, ou bien un chemin composé de bandes de bois, comme on en voit aux États-Unis et dans beaucoup de mines en Prusse. Les bandes qui constituent le chemin s'appellent alors des rails.

Les railways sont à *bandes saillantes* (*edge-rails*), lorsque les bandes de fer ne portent aucun rebord pour maintenir le chariot sur la voie; c'est alors sur les roues que se trouvent les bourrelets ou saillies qui empêchent la roue de dévier (fig. 1).

Ils sont à *bandes plates* (*plate-rails*), quand les bandes sont garnies d'un rebord, ce qui permet d'employer pour les voitures les roues ordinaires (fig. 2).



Fig. 1. — Rails à bandes saillantes.

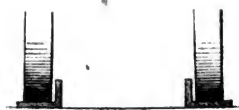


Fig. 2. — Rails à bandes plates.

Les chemins à bandes saillantes sont aujourd'hui généralement préférés aux chemins à bandes plates, à cause de la grande facilité avec laquelle on maintient la surface des rails parfaitement propre.

On trouve cependant encore un grand nombre de chemins à bandes plates dans les mines ou dans le voisinage des grands établissements d'industrie.

Le chemin de fer réduit pour ainsi dire à sa plus simple expression n'est composé que de deux files de bandes de fer. C'est ainsi que l'on peut concevoir le chemin de fer tel qu'on l'a établi dans l'origine pour transporter du charbon ou des produits industriels à de petites distances, sur des chariots qui marchaient une partie de

la journée dans un sens avec la même vitesse, et qui revenaient ensuite sur le même chemin dans la direction opposée.

Mais cette voie unique, composée de deux files de rails seulement, devint insuffisante dès que les chariots durent se croiser ou se dépasser. On posa alors deux voies, ou quatre files de rails, sur toute la longueur de la route, ou du moins de distance en distance, sur une partie de la longueur, et on se ménagea les moyens de passer à volonté d'une voie sur une autre.

Les chemins de fer composés de deux voies sur toute leur longueur sont appelés *chemins à double voie*; ceux dans lesquels on n'a posé une double voie que sur une partie de la longueur sont nommés *chemins à simple voie*.

Dans certains pays où le terrain est précieux, les routes ordinaires sont tellement étroites, que deux voitures ne peuvent y marcher de front et se croiser que dans quelques endroits où elles présentent des espèces de renflements. On est alors forcé de faire en sorte de ne se rencontrer que dans ces gares ménagées à dessein. Sur les chemins à simple voie, il faut aussi calculer la marche des convois, de telle façon qu'ils se rencontrent exactement dans les parties où sont placées les deux voies. Les chemins à double voie sont plus commodes, mais ils sont plus coûteux.

Quelques accidents arrivés sur des chemins à une seule voie en France ont conduit à penser qu'ils étaient excessivement dangereux. La plupart des chemins belges et des chemins allemands ont cependant été exploités avec une seule voie pendant plusieurs années sans que le nombre des accidents y fût plus grand que sur les chemins à deux voies. Les chemins à une voie ne sont d'une exploitation réellement difficile, et, par suite, dangereuse, que lorsque la circulation y dépasse certaines limites. Ce n'est que sur des chemins de cette espèce, où la circulation était trop active pour une seule voie, ou sur des chemins mal exploités, que l'on a eu à déplorer des accidents graves.

On a construit des chemins de fer composés d'une seule file de rails, qui ont été appelés, du nom de leur inventeur Palmer, *chemins à la Palmer*. Les roues des voitures employées sur ces chemins sont creusées en gorge de poulies à leur pourtour et placées au milieu

des essieux, chaque essieu n'en portant qu'une seule. La charge en marchandises ou en voyageurs est logée dans des caisses suspendues aux extrémités des essieux, et les rails sont établis sur des colonnes ou des piliers au-dessus du sol. La figure 5 représente un chemin à la Palmer établi près de Posen en Prusse, pour le transport des produits d'une briqueterie à une distance de 1,800 mètres.

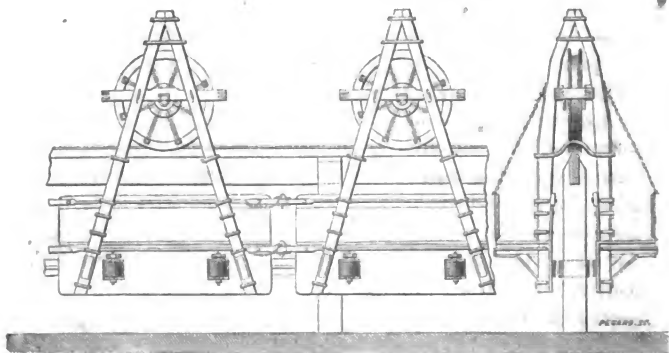


Fig. 5. — Chemin à la Palmer, près Posen.

Ce mode de construction est, sans doute, fort économique; mais les chariots sur un chemin de ce genre éprouvent une grande résistance, si on ne charge également les extrémités des essieux, condition difficile à remplir lorsqu'on transporte des voyageurs; le tirage par des chevaux ne peut s'y faire que dans une direction oblique, et la traction par locomotive y paraît difficilement applicable: aussi l'usage en a-t-il été jusqu'à ce jour fort limité. On ne les a employés que dans l'intérieur d'un petit nombre d'établissements industriels (chemin du bureau des navires à Deptfort, près de Londres); pour un transport de marchandises peu important (chemin des fours à chaux et de la briqueterie de Cheshunt, au canal de Lee); pour le service de la briqueterie de Posen; dans quelques mines de houille (mines de Rive-de-Gier), ou enfin pour des travaux

de terrassements (terrassements pour les fortifications de Paris au bois de Boulogne) ¹.

M. Amédée Burat décrit, dans son *Traité de la recherche et de l'exploitation des minéraux utiles*, le chemin à la Palmer de Rivede-Gier, sur lequel on se sert de chariots à une seule caisse, placée, au moyen d'une espèce d'étrier recourbé, au-dessous du rail (fig. 4). Il signale comme inconvénient de ce système le défaut de stabilité des caisses de chariots.



Fig. 4. — Chariot d'un chemin à la Palmer.

On trouve sur tous les chemins de fer employés au transport des voyageurs et des marchandises, aux deux extrémités et à chacun des points intermédiaires où les convois doivent s'arrêter, des bâtiments plus ou moins vastes, qui servent à loger les bureaux de distribution des billets ou à procurer un abri aux voyageurs. Dans le voisinage de ces bâtiments, en certains points, il existe, outre les voies principales du chemin de fer, des voies auxiliaires pour le remisage des voitures et des machines. Le service du chemin exige enfin des ateliers de réparation, des magasins, des réservoirs, etc., etc.

L'emplacement plus ou moins vaste sur lequel ces bâtiments divers avec leurs dépendances ont été construits et ces voies auxiliaires posées porte le nom de *gares de stationnement* ou *stations*.

Nous étendrons ce nom de gare aux emplacements réservés pour les ateliers, ordinairement construits dans des terrains situés en dehors du chemin, et où les convois ne stationnent pas.

On appelle enfin *gares d'évitement* les parties des chemins à une seule voie sur lesquelles on a posé une double voie (fig. 5).

¹ Voir un Mémoire sur les chemins à une seule file de rails, publié en 1857 par M. le général-major de Prittwitz, intitulé : *Die schwebende Eisenbahn bei Posen*.

Ce nom de *gares d'évitement* est usité aussi pour les parties des chemins à double voie où les convois passent sur une voie latérale, pour reprendre ensuite l'une des voies principales.

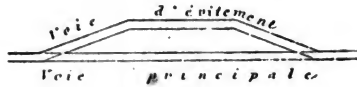


Fig. 5. — Gare d'évitement.

On distingue les *gares ou stations extrêmes*, *gares d'arrivée* ou de départ, et les *gares ou stations intermédiaires*.

Les *gares intermédiaires* se subdivisent en :

Gares intermédiaires de première classe, deuxième classe et troisième classe, et quelquefois même en *gares de quatrième classe*.

Les *gares de première classe* sont placées près des grandes villes ou à proximité de localités très-peuplées; tous ou presque tous les trains s'y arrêtent. Une partie seulement des convois stationnent dans les *gares de seconde classe*.

Considérant les *gares* sous un autre point de vue, on les divise en :

Gares appropriées au service des voyageurs seulement;

Gares appropriées au service des marchandises seulement;

Gares appropriées au service des voyageurs et des marchandises.

Les *ateliers de réparation* ne sont quelquefois que les dépendances des *gares de voyageurs* ou de *marchandises*. Souvent aussi ils sont renfermés dans des *gares spéciales*.

On peut enfin distinguer les *gares traversées* par un seul chemin de fer et celles dans lesquelles aboutissent ou se croisent plusieurs chemins de fer.

Moteurs. — On emploie comme moteurs sur les chemins de fer les *hommes* ou les *animaux*, les *machines fixes*, les *machines locomotives*, et la force naturelle de la pesanteur ou *gravité*.

Les *hommes* poussent ou traient les chariots; les *chevaux* ou les *bœufs* les traient presque toujours en agissant comme sur les routes ordinaires, ou quelquefois en leur donnant le mouvement à l'aide d'un manège. Dans ce dernier cas, les chariots, atta-

chés à la suite les uns des autres, sont fixés à une corde qui s'enroule ou se déroule sur le tambour d'un manège. Ce n'est guère que sur des rampes d'une grande inclinaison (plans inclinés) qu'on emploie les tambours et les manèges. Les machines fixes sont des machines fixées au sol, et qui font tourner des tambours, à l'aide desquels on remorque les convois exactement de la même manière. On se sert ordinairement, dans ce cas, de machines à vapeur. Cependant on peut aussi faire usage des machines hydrauliques ou de toute autre espèce. Aux États-Unis, on trouve sur quelques chemins de fer des roues hydrauliques.

Les machines locomotives sont des machines à vapeur, accompagnées de leur chaudière, de leur foyer et de leur cheminée, portées sur un chariot spécial placé en tête du convoi qu'elles remorquent.

Elles impriment le mouvement de rotation à un des essieux du chariot. Les roues qui sont fixées aux extrémités de cet essieu tournent aussi; mais, comme elles sont gênées dans leur mouvement par la résistance qu'elles trouvent sur le rail, il suffit que cette résistance soit en rapport avec la charge que la machine doit trainer pour qu'elles ne puissent tourner qu'en avançant.

C'est à peu près de la même manière qu'une machine à vapeur, placée sur un bateau, le fait marcher en faisant tourner les deux roues à palettes qui remplacent les rames.

La force naturelle de la pesanteur ne peut être employée qu'à la descente, où elle entraîne les chariots avec d'autant plus d'énergie que la pente est plus forte. Sur un chemin de fer en ligne droite, elle suffit pour faire équilibre à la résistance dès que la pente atteint quatre millièmes, c'est-à-dire, lorsque, par un parcours de mille unités de longueur, mètres ou pieds, le niveau du chemin s'est abaissé de quatre fois cette unité¹. La plus légère impulsion met alors les chariots en mouvement, et ils peuvent, à la rigueur, descendre sur une pareille pente sans le secours d'aucun moteur.

Sur une pente plus forte, il y a excès de *gravité*, et les chariots descendraient avec une vitesse qui croîtrait constamment jusqu'à

¹ La pente est alors *descendante*; elle serait ascendante et deviendrait une rampe si le niveau s'était élevé au lieu de s'être abaissé.

une certaine limite, si l'on ne se servait de freins pour les contenir.

Quand la pente atteint deux centièmes environ, l'effet de la pesanteur qui entraîne les chariots descendants est assez grand pour que ces chariots puissent, à l'aide d'une disposition particulière, faire monter des chariots moins pesamment chargés, marchant en sens contraire sur une voie parallèle.

Les chariots qui doivent descendre sont alors accrochés à l'extrémité d'une corde passant sur une poulie couchée horizontalement, ou à peu près, au sommet du chemin incliné, et les chariots qui doivent monter sont fixés à l'autre extrémité de cette corde.

On conçoit comment les premiers, roulant du haut du plan vers le bas sur une voie, entraînent, par l'intermédiaire de la corde, les seconds, qui remontent, en sens contraire, une voie parallèle.

Les plans inclinés disposés de cette manière portent le nom de *plans automoteurs* (self-acting planes) (fig. 6).

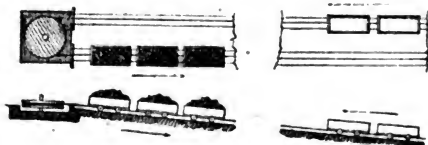


Fig. 6. — Plans automoteurs.

Avantages des chemins de fer au point de vue technique. —

La vitesse est, aux yeux du public, le principal, le seul avantage peut-être, qu'aient les chemins de fer sur les routes ordinaires. On pourrait cependant très-probablement obtenir cette vitesse avec des machines locomotives sur des routes ordinaires, tracées comme les chemins de fer, et parfaitement entretenues; mais elle deviendrait excessivement coûteuse, tant en raison de la grande résistance des voitures que par suite des causes de destruction qui agiraient sur les locomotives.

Le principal avantage des chemins de fer est donc de rendre l'emploi de la machine locomotive possible pour le transport à un

prix modéré des voyageurs et des marchandises, du moins lorsqu'ils sont établis dans de certaines conditions que nous ne tarderons pas à faire connaître.

Mais cet avantage n'est pas le seul que possèdent les chemins de fer; la résistance sur les voies de fer est moins grande que sur les routes ordinaires : il en résulte une diminution dans les frais de traction, avec toute espèce de moteur et à un degré quelconque de vitesse, qui a conduit à construire des chemins de fer longtemps avant que les machines locomotives fussent connues.

Cette diminution de résistance due à l'emploi des chemins de fer n'est très-sensible, et l'emploi des locomotives n'y a lieu avec avantage, qu'autant que leurs pentes sont faibles et que leur direction se rapproche de la ligne droite.

Pour bien établir ce fait important, analysons les résistances diverses que doit vaincre le moteur sur un chemin de fer ou sur une route ordinaire.

Deux résistances seulement se manifestent dans une voiture qui roule en plaine et en ligne droite sur une route quelconque : l'une au pourtour des roues, résultant des inégalités du terrain. l'autre à l'essieu, provenant des aspérités de la boîte dans laquelle l'essieu tourne en frottant.

La première, appelée quelquefois *frottement de roulement*, est considérable sur les routes, car celles-ci ne sont jamais, comme les chemins de fer, parfaitement dures, parfaitement unies. On estime qu'elle est, sur les meilleures routes Mac-Adam, sept fois aussi considérable que la seconde, et on trouve que la somme des deux résistances est égale à un trentième du poids du véhicule et de sa charge, c'est-à-dire telle que, si l'on attachait à l'extrémité de la voiture une corde, et que cette corde, d'abord tendue horizontalement, vint, après avoir passé sur une poulie fixée au milieu de la route, à tomber verticalement dans un puits, il faudrait, pour entraîner la voiture, ou au moins pour en contre-balancer les résistances et lui permettre de céder à la plus faible impulsion, attacher à l'extrémité de la corde qui pend dans le puits autant de kilogrammes qu'il y a de fois trente kilogrammes dans le poids du chariot.

Sur une route en fer, la résistance sur les essieux du chariot est exactement la même que si le chariot roulait sur une route ordinaire, car elle dépend du mode de construction du chariot, et non de celui de la route; mais la résistance au pourtour de la roue, qui dépend essentiellement du plus ou moins grand nombre d'aspérités que présente la surface sur laquelle s'opère le mouvement, est presque nulle. Elle n'est plus que la moitié de la résistance sur l'essieu, et la somme des résistances, à une vitesse de moins de six lieues à l'heure, n'est plus que la deux centième partie du poids du chariot, ou même, lorsque le chariot est bien construit et bien graissé, la deux cent cinquantième partie environ.

Cette somme des résistances sur un chemin de fer n'est par conséquent que la septième ou la neuvième partie de ce qu'elle est sur une route ordinaire. *Un cheval, une machine, un moteur quelconque, peuvent donc traîner sur un chemin de fer de niveau, en ligne droite, à une vitesse modérée de moins de six lieues à l'heure, une charge de sept à neuf fois aussi grande que sur une route ordinaire à la vitesse en usage sur ces routes.*

Si la vitesse augmente, la résistance que l'air, même dans l'état de calme parfait, oppose à la marche des convois, devient sensible. Elle s'accroît avec cette vitesse dans une proportion telle, qu'à 60 ou 70 kilomètres par heure elle s'élève, sur un chemin de fer, au double de ce qu'elle est à des vitesses modérées. Ainsi, *à la vitesse de 60 ou 70 kilomètres par heure, un moteur quelconque ne traîne plus sur un chemin de fer de niveau, en ligne droite, que le tiers ou le quart de la charge qu'il traîne sur les routes à la vitesse en usage.*

Si la route, d'horizontale qu'elle était, devient inclinée, tout en conservant la direction rectiligne, et que le cheval soit obligé de gravir une rampe, chacun sait que la résistance qu'il éprouve s'accroît. Cette augmentation ne provient pas de l'un ou de l'autre frottement du chariot : les frottements, au contraire, diminuent; mais il se développe une troisième résistance, occasionnée par le poids du chariot, qui tend à le faire reculer, et qui l'entraînerait si elle était plus forte que les frottements, et si le cheval n'exerçait aucun effort en sens contraire. Cette troisième résistance est d'autant plus

grande que la pente est plus forte, et elle croit même si rapidement avec la pente, que, pour peu que les montées soient roides, les chevaux deviennent incapables de mouvoir le véhicule, même au pas, si on ne leur adjoint des chevaux de renfort.

*Le frottement au pourtour des roues n'est donc plus, sur une rampe un peu forte, qu'une petite fraction de la résistance totale*¹, et la pose des bandes de fer, comme moyen de réduire ce frottement, n'offre plus les mêmes avantages qu'en plaine. Les machines fixes peuvent alors, si l'inclinaison ne dépasse pas certaines limites, être encore employées avec économie; mais il n'en est pas de même des machines locomotives, qui, ayant à se trainer elles-mêmes, ont à vaincre non-seulement l'accroissement de résistance de charge, mais encore l'accroissement de résistance provenant de leur propre poids. Ainsi l'on admet assez généralement que l'usage des machines locomotives, sur une pente de plus de trois centièmes et demi, lors même qu'elles trouveraient sur le rail la résistance (adhérence) nécessaire pour tourner sans glisser, cesse d'être économique.

A la descente, le poids du chariot, qui, à la montée, l'entraînait en sens contraire du cheval, agit dans le même sens que celui-ci, et, si la pente est un peu rapide, le cheval est obligé de retenir les chariots, au lieu de les trainer, et consomme sa force en pure perte. C'est alors que, sur les chemins de fer, on se passe de moteur, ou que même, si la pente devient assez forte, on utilise, au moyen de mécanismes que nous avons indiqués (voir page 104), l'excès de poids nuisible sur les routes².

¹ Sur une pente de quatre millièmes, par exemple, imperceptible à l'œil, la résistance totale sur un chemin de fer à une vitesse modérée est déjà double de la résistance due au frottement, la seule qui se manifeste en plaine; sur une rampe de huit millièmes, elle est triple; de seize millièmes, quintuple.

² Il ne faudrait pas s'imaginer cependant que les frais de transport sur les chemins de fer, à la descente, lorsque la pente dépasse une certaine limite, soient tout à fait nuls. La pente étant de cinq à quinze millièmes, les chariots descendent, il est vrai, d'eux-mêmes, sans qu'on emploie aucun moteur pour les trainer; mais il faut ensuite les ramener en montant. Sur le chemin de Darlington, on a eu l'heureuse idée de faire descendre les chevaux qui traînaient les chariots à la montée, dans de petits wagons-écuries: de cette manière ils n'éprouvaient aucune fatigue pendant une partie de la journée; ils paraissaient même trouver beaucoup de plaisir à ce genre de promenade, et, en les ramenant ainsi en voiture, on avait augmenté d'un tiers leur travail utile à

Jusqu'à présent nous avons supposé que le chemin suivait une ligne droite; *les circuits engendrent de nouvelles résistances.*

La force que l'on connaît sous le nom de force *centrifuge*, et qui se développe lorsqu'un corps prend un mouvement curviligne, tend à jeter contre le mur le cavalier galopant autour d'un manège et oblige la pierre lancée par une fronde à se mouvoir en ligne droite; cette force tend aussi à entraîner en ligne droite le chariot qui décrit une courbe, et elle agit avec d'autant plus d'énergie que la vitesse est plus considérable et que le rayon de la courbe est plus petit. Sur une route ordinaire, comme il est rare que l'on marche très-rapidement, et que d'ailleurs le frottement contre le terrain oppose généralement une résistance suffisante à la force centrifuge, elle n'a d'autre effet que de faire verser les voitures lorsqu'on veut tourner trop court. Sur un chemin de fer elle chasse, dans les circuits formés de deux files courbes de rails, les roues contre les rails de la plus grande courbe, et donne lieu, de cette manière, à un frottement de leurs rebords contre ces rails. Plus la vitesse est grande et le rayon de la courbe petit, plus cette résistance est considérable.

En outre, deux nouveaux frottements résultent, sur un chemin de fer courbe, de la construction même des wagons.

L'un de ces frottements a pour cause immédiate la construction même du système de rotation. Les roues, étant fixées aux essieux, doivent nécessairement, en vertu de cette disposition, effectuer toujours le même nombre de tours que l'essieu dans sa boîte; mais, comme dans une courbe les deux rails sont d'inégales longueurs, les roues n'ont pas la même distance à parcourir : celle que guide le rail le plus éloigné du centre de la courbe serait obligée, si elle était libre sur son axe, de faire, pour compenser cette différence de parcours, un plus grand nombre de tours; or, comme cela est impossible, il s'ensuit que les roues, en effectuant leur mouvement

la montée. Aujourd'hui les chevaux ont été, sur ce chemin, remplacés par des machines locomotives.

Sur les plans *automoteurs*, la gravité ou la pesanteur est le seul moteur employé. Ce moteur ne coûte rien, mais la dépense pour l'entretien des cordes, poulies, etc., équivaut à celle qu'occasionnerait l'emploi d'une machine locomotive sur un terrain de niveau.

de rotation, exécutent pendant le passage des courbes un mouvement de glissement en avant ou en arrière, suivant la position respective des roues.

Le second frottement résulte de la position des essieux dans leurs boîtes, position qui ne leur permet pas de converger vers le centre de la courbe, comme ils le feraient s'ils étaient libres.

Ces résistances n'ont pas lieu sur les routes ordinaires, où l'on se sert de voitures dont le train de devant peut tourner librement, et dont les roues, portées sur un même essieu, peuvent, dans le même temps, faire des nombres de tours différents.

On a imaginé différents moyens pour contre-balancer ou détruire l'effet de ces résistances; mais aucun, jusqu'à présent, ne paraît atteindre parfaitement le but, du moins sur les chemins de fer que l'on veut parcourir à de grandes vitesses.

Il en résulte qu'un chemin de fer sur lequel on veut marcher rapidement n'admet pas de courbes d'un aussi petit rayon qu'une route ordinaire.

On voit donc en résumé par ce qui précède :

1° *Que la construction des chemins de fer pour les transports à grande vitesse est particulièrement avantageuse dans les pays de plaine ou faiblement accidentés, puisque c'est dans ces pays surtout qu'il est facile de remplir les deux conditions sans lesquelles on ne peut marcher rapidement et économiquement avec des machines locomotives, savoir : une faible inclinaison des rampes et des courbes de très-grand rayon.*

On est cependant parvenu, au moyen d'immenses travaux, à établir des chemins de fer à grande vitesse dans des pays assez fortement accidentés; mais ils ne sont avantageux, financièrement parlant, qu'autant que la circulation y est très-active.

2° *Que la construction des chemins de fer offre des avantages d'une autre nature, mais qui ne sont pas moins grands, pour le transport des marchandises, lorsque le terrain est sensiblement incliné et que les chariots descendent avec de fortes charges et remontent à vide ou avec de faibles charges.*

Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque, sur un terrain incliné, les plus fortes charges montent, tandis que les plus faibles descen-

lique excessivement coûteuse, sans songer que la question n'était pas purement technique, mais qu'elle était aussi commerciale, politique, et même militaire.

On comprend effectivement que, s'il importe de faire disparaître autant que possible, dans le tracé des routes, les inégalités du sol au moyen de tranchées, de souterrains, de remblais ou de viaducs, il n'est pas moins essentiel de proportionner la dépense aux produits et de ne jamais perdre de vue l'intérêt politique ou commercial et les exigences de la stratégie.

Que l'on se propose, par exemple, de construire un chemin de fer pour une circulation médiocrement active et dont l'avenir est incertain, convient-il, dans ce cas, pour éviter les pentes trop roides, d'aplanir le terrain à grands frais, de couper ou de percer les montagnes pour adoucir les contours du chemin? Non, certes, il vaut mieux alors gravir des rampes un peu plus inclinées et tourner brusquement autour des contre-forts : la dépense d'exploitation, qui, en définitive, ne se compose pas uniquement des frais de traction, mais qui comprend également les frais généraux, l'intérêt et l'amortissement du capital, en sera amoindrie, et l'entreprise en sera plus fructueuse.

Ce calcul du rapport des produits au capital engagé, que font les spéculateurs, ne saurait être indifférent au gouvernement, qui administre la fortune de tous¹; mais ses prévisions n'ont pas, comme celles des spéculateurs, le temps pour limite. Il doit donc souvent sacrifier le présent à un avenir éloigné, mais certain, auquel ne songent guère les capitalistes pressés de jouir, et n'oublier jamais que ce n'est pas seulement en grossissant par ses produits les recettes du Trésor qu'une voie de communication est utile au pays, mais aussi en contribuant à l'accroissement du bien-être général, en répandant les bienfaits de la civilisation dans les provinces qu'elle traverse, en facilitant l'action d'une administration éclairée, et enfin en servant aux mouvements des troupes qui protègent le territoire.

¹ C'est sous l'empire de ces principes que le gouvernement anglais,

¹ Voir, plus loin, page 142, l'opinion exprimée sur cette question par M. le comte Daru.

dans un pays où les travaux productifs sont livrés aux Compagnies, a construit la grande route de Holyhead, afin d'activer les relations de la métropole avec l'Irlande, et que le gouvernement français a contribué pour une part considérable à l'établissement du chemin de fer de Paris à Strasbourg, qui sert en même temps à favoriser notre commerce avec l'Allemagne et à porter rapidement, en cas de guerre, nos troupes vers la frontière de l'est.

On voit qu'un bon tracé doit remplir un grand nombre de conditions souvent incompatibles et qui se dérobent à une saine appréciation; ce serait, par conséquent, tenter l'impossible que de vouloir établir des règles absolues pour les déterminer.

Mais l'expérience acquise, quelque courte qu'elle soit, a déjà fourni certaines données qui, sans conduire directement et par une voie sûre à la solution du problème, contribuent à en diminuer les difficultés.

C'est dans l'exposé de ces données que consiste aujourd'hui toute la théorie du tracé des chemins de fer.

Les premières études d'un chemin de fer se font dans le cabinet et sur de bonnes cartes.

Plusieurs directions se présentent ordinairement pour une même ligne, toutes semblant offrir des avantages à peu près égaux, et il est assez difficile de se prononcer pour l'une d'elles de préférence aux autres. On ne pourrait guère, en effet, citer de chemin de fer d'une certaine étendue pour lequel d'habiles ingénieurs n'aient proposé de suivre des directions différentes et défendu leurs tracés par des arguments en apparence également bons.

Il ne convient pas généralement de faire étudier le terrain dans toutes les directions possibles, mais il est toujours bon de faire des reconnaissances sérieuses dans toutes celles qui paraissent à première vue également avantageuses, et de se rendre compte des intérêts qui se rattachent à chacune d'elles. Pour cela, il faut que les ingénieurs chargés de rédiger les projets se guident, dans leur première appréciation, par la connaissance de certains faits que nous allons d'abord passer en revue, et qui nous conduiront à établir les principes les plus rationnels en matière de tracés.

Tracés directs. — Lorsque, pour la première fois, l'administra-

tion des ponts et chaussées s'occupa en France du tracé des grandes lignes de chemins de fer, elle parut disposée à adopter les tracés les plus directs d'une extrémité à l'autre de la ligne ; mais alors les localités intermédiaires n'étaient pas desservies, ou ne l'étaient que par de simples embranchements.

Ainsi elle approuva le projet d'un tracé direct de Paris au Havre, qui ne desservait Rouen que par un embranchement.

Plus tard même elle autorisa l'exécution du chemin de Bâle à Strasbourg, qui passe à de grandes distances d'une partie des localités les plus importantes de la haute Alsace, et celle du chemin de Dijon à Châlons, auquel on reproche de négliger plusieurs villes ou villages qu'il aurait dû toucher ou même traverser.

Sans doute il est essentiel de raccourcir le trajet entre les deux points extrêmes d'une grande ligne, quand ce sont des villes de première classe, des centres d'activité du premier ordre ; sans doute le temps est aujourd'hui devenu si précieux, que quelques heures de plus ou de moins du Havre à Marseille peuvent influencer sur l'avenir du commerce de l'Angleterre avec l'Afrique ou avec l'Inde, et conserver à la France ou faire dévier sur l'Allemagne le grand courant que le commerce fera naître inévitablement lorsque la mer Rouge communiquera plus facilement avec la Méditerranée ; mais on a, dans cette pensée, beaucoup trop amoindri l'importance des localités intermédiaires. C'est ce qu'a le premier démontré M. Minard, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, dans un travail sur la statistique des chemins de fer.

Au moyen de renseignements nombreux recueillis sur les chemins de fer dans plusieurs pays, il a constaté que, sur ces différentes lignes, un très-petit nombre excepté, le parcours partiel des voyageurs, ou autrement dit leur parcours d'une station intermédiaire à une autre station intermédiaire, ou d'une station intermédiaire à une station terminale, dépassait celui des voyageurs d'une extrémité à l'autre de la ligne.

Ces renseignements sont indiqués dans des tableaux que nous avons placés dans les deux premières éditions de ce traité élémentaire. Comme ils sont déjà anciens, et qu'il nous a été impossible de nous procurer, sur la plupart des lignes, les documents nécessaires

pour en donner de plus nouveaux, nous n'avons pas cru nécessaire de les reproduire; mais nous avons constaté que, depuis l'époque où M. Minard les publiait, l'importance du parcours partiel, loin de diminuer, s'était accrue.

Sur le chemin de Strasbourg, par exemple, le produit des stations intermédiaires a augmenté dans une proportion beaucoup plus rapide que celui des stations terminales.

On est naturellement tenté de supposer que sur des chemins de faible longueur, tels que ceux de Saint-Germain et de Versailles, eu égard à la courte distance qui sépare les villages desservis par les stations intermédiaires et à leur faible population, la circulation locale doit être peu considérable, comparée à celle des deux points extrêmes. Il est vrai que, en 1842, lorsque M. Minard publiait ses tableaux, le rapport du parcours partiel au parcours général n'était, sur le chemin de Saint-Germain, que de 0,27, et sur celui de Versailles (rive droite) de 0,28; mais, dix ans plus tard, en 1852, il s'était élevé, sur le chemin de Saint-Germain, à 0,61, et sur celui de Versailles à 0,65.

Le rapport du parcours partiel au parcours total est, sans aucun doute, l'élément le plus important pour juger de l'importance du parcours partiel. Nous devons faire observer toutefois à ceux de nos lecteurs qui, pour étudier le tracé des chemins de fer, voudraient comparer les produits de ce parcours partiel à ceux du parcours total, qu'ils ne sont pas exactement proportionnels au parcours. En effet: 1° le nombre des voyageurs qui se servent de voitures de 1^{re} classe est moins grand pour les petits que pour les longs parcours. La taxe moyenne perçue sur chaque voyageur pour une même distance parcourue est donc moindre; 2° le service des localités intermédiaires augmente considérablement le rapport des places vides à celui des places occupées, et devient ainsi onéreux à l'exploitation.

L'influence de la longueur du parcours sur le choix des places et sur la taxe moyenne ressort du tableau suivant, dressé d'après les renseignements les plus récents que nous ayons pu nous procurer.

PARCOURS MOYEN D'UN VOYAGEUR.

PARCOURS MOYEN D'UN VOYAGEUR.	CHEMINS ALLEMANDS.	CHEMINS BELGES.	CHEMINS ANGLAIS.	CHEMIN DU NORD.	CHEMIN DE L'EST.	CHEMIN DE LYON.	CHEMIN D'ORLÉANS.	CHEMINS AUTRICHIENS.	CHEMIN DU MIDI
1 ^{re} classe.	57	45	42	•	153	•	172	196	106
2 ^e classe.	51	31	22	•	76	•	75	95	75
3 ^e classe.	28	25	18	•	59	•	61	52	37
Parcours moyen d'un voyageur moyen.	45	35	29	•	44	54	75	74	65

Quant à l'accroissement des frais provenant du parcours partiel, un raisonnement bien simple le mettra en évidence. Un convoi, composé de dix voitures remorquées par une seule locomotive, peut transporter 400 voyageurs de Paris à Versailles; 800 voyageurs transportés à moitié chemin dans des voitures de même classe donneront le même produit brut. Mais, pour transporter ces 800 voyageurs, il faudra 20 voitures et 2 locomotives, qui, bien que les wagons ne parcourent que la moitié de la longueur totale du railway, devront faire le trajet dans son entier. Le produit brut restera donc le même et la dépense sera doublée.

Observons toutefois que ceci n'est qu'un cas extrême admis pour mieux faire ressortir la vérité de notre assertion; car, généralement, partie au moins des voyageurs du petit parcours sont remplacés par des voyageurs partant des stations intermédiaires.

Dans les calculs ayant pour objet les produits des stations intermédiaires, il faut avoir égard au transport des marchandises autant qu'à celui des voyageurs. Le transport des marchandises sur les chemins de fer ne devient ordinairement avantageux que lorsque la distance dépasse un certain nombre de kilomètres. Aussi le parcours moyen d'une tonne de marchandises est-il, sur nos principales

lignes, plus grand que celui d'un voyageur. C'est ce que prouve le tableau suivant :

PARCOURS KILOMÉTRIQUE D'UN VOYAGEUR ET D'UNE TONNE DE MARCHANDISES.

UNITÉ DE COMPARAISON.	NORD.	EST.	LYON.	ORLÉANS.	MIDI.
Parcours moyen d'un voyageur..	44	54	75	74	68
Parcours moyen d'une tonne de marchandises.	135	160	203	229	194

Il ne faudrait pas croire cependant que le transport des marchandises, à de petites distances, soit insignifiant. Il résulte des tableaux publiés par M. Teisserenc sur le mouvement commercial des chemins de York à Darlington, et de Saint-Étienne à Lyon, que, sur le premier de ces chemins, dont la longueur n'est que de 72 kilomètres, moitié du tonnage en marchandises, à l'époque où il publiait son ouvrage, appartenait au parcours partiel, et que, sur le second, long de 57 kilomètres, le mouvement local représentait les deux tiers du mouvement total.

Sur le chemin de Strasbourg à Bâle, la quantité de marchandises qui parcourent la totalité de la ligne dans un sens ou dans l'autre n'est qu'une fraction très-faible de la masse qui circule sur le chemin, le mouvement de Strasbourg à Mulhouse ne dépasse pas le quart du mouvement total, celui de Mulhouse à Bâle en est à peu près le sixième, et la circulation à laquelle donnent lieu les stations du second et du troisième ordre, quelque faible que soit leur importance sous le rapport de leur population, est environ le sixième de la circulation totale.

Sur le chemin de Paris à Strasbourg, le transport des marchandises entre les localités intermédiaires, et à de petites distances, est également productif. Voici quelques données qui viennent à l'appui de cette opinion :

MOUVEMENT DES MARCHANDISES SUR LA LIGNE DE PARIS A STRASBOURG PENDANT
UN TRIMESTRE D'ÉTÉ.

		Mouvement total.
Mouvement des stations extrêmes entre elles.	8,184	} 95,900 tonnes
<i>Id.</i> des stations extrêmes aux stations inter- médiaires et de ces dernières entre elles.	87,716	
—————		
<i>Id.</i> des stations extrêmes à toutes les stations.	29,825	} 95,900 . .
<i>Id.</i> des stations intermédiaires à toutes les stations.	66,075	
—————		
<i>Id.</i> réciproque des gares extrêmes à toutes les stations.	68,115	} 95,900 —
<i>Id.</i> des stations intermédiaires entre elles. . .	27,785	
—————		

MOUVEMENTS PARTIELS PENDANT LE MÊME TEMPS ENTRE CERTAINES STATIONS
A DE TRÈS-PETITES DISTANCES.

Entre Lagny et Meaux (17 kilomètres).	188 tonnes.
La Ferté et Château-Thierry (29 —).	392 —
La Ferté et Nogent (19 —).	105 —
Château-Thierry et Dormans (22 —).	489 —
Dormans et Épernay (25 —).	1906 —
Bar-le-Duc et Nançois (11 —).	59 —
Nancy et Blainville (24 —).	55 —
Sarrebourg et Saverne (27 —).	219 —
Steinbourg et Hochfelden (12 —).	57 —

Les faits suivants enfin, bien que déjà anciens, faits que nous empruntons à la dernière édition de l'ouvrage de Lardner, intitulé *Railway Economy*, et publié en 1850, prouvent surabondamment la grande importance des transports à petites distances pour les marchandises comme pour les voyageurs.

Sur les chemins belges, en 1849, 40 pour 100 de la totalité des

voyageurs n'avaient parcouru que des distances inférieures à 52 kilomètres, et 75 pour 100 des distances de 64 kilomètres. Le parcours kilométrique des premiers forme 16 pour 100 du parcours total, et celui des seconds 46 pour 100; 5 pour 100 seulement parcourent des distances dépassant 27 kilomètres, et leur parcours kilométrique n'est que de 17 pour 100 du parcours total.

54 pour 100 des marchandises transportées parcourent des distances de moins de 40 milles (64 kilomètres) et 60 pour 100 des distances de moins de 20 milles (52 kilomètres). Le parcours kilométrique des premières est de 11 pour 100 du parcours total, et des secondes de 51 pour 100; 12 pour 100 seulement des marchandises sont transportées à des distances de plus de 80 milles (128 kilomètres), et leur parcours kilométrique est de 51 pour 100 du parcours total, d'après des rapports plus récents.

De ce qui précède, il résulte que, bien que le produit du trafic intermédiaire ne soit pas tout à fait aussi grand qu'il peut le paraître à la seule inspection du tableau de M. Minard, il n'en est pas moins considérable autant pour les marchandises que pour les voyageurs. *Il serait, par conséquent, en même temps impolitique et préjudiciable aux intérêts financiers de l'État comme à ceux des Compagnies de sacrifier, ainsi qu'on l'a fait sur certaines lignes précitées, les intérêts de localités intermédiaires importantes à ceux des points extrêmes.*

Si d'ailleurs les besoins du commerce rendent la construction des lignes directes nécessaire, on ne tardera pas à les établir, malgré l'existence de celles qui s'en écartent peu.

Douze ans à peine s'étaient écoulés depuis que le chemin de Londres à York par Birmingham était ouvert au public, que déjà on construisait une ligne plus directe pour abrégier le trajet de 64 kilomètres. En France, le chemin de Lyon s'éloigne du tracé direct pour passer à Dijon; le chemin du Nord, tel qu'il fut établi dans l'origine, faisait un détour de 21 kilomètres pour passer à Pontoise, et de 57 kilomètres pour desservir Lille et les environs, et le chemin d'Orléans ne conduit à Nevers que par un long circuit; mais l'activité du service a déjà conduit à construire une nouvelle

ligne de Paris à Lyon, abrégant le parcours entre ces deux villes de 70 kilomètres, en même temps qu'elle réduit celui de Paris à Nevers de 65 kilomètres, et à exécuter le tronçon de Saint-Denis à Creil, et d'Arras à Hazebrouck, diminuant de 58 kilomètres la distance par voies ferrées de Paris à Calais. Le chemin de Paris à Mulhouse enfin a été exécuté sept ans seulement après l'ouverture du chemin de Paris à Strasbourg, afin de raccourcir de 128 kilomètres le trajet de Paris à Bâle. Ces nouvelles lignes, que l'on peut appeler *chemins de traverse*, ont pour objet de desservir de nouvelles localités.

M. Courtois, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a combattu l'opinion soutenue par M. Minard : il s'est attaché à démontrer qu'il ne faut pas dévier les grandes lignes pour toucher quelques petites villes, bourgs ou villages qui peuvent se trouver à proximité de la direction à suivre. Nous ne pensons pas que M. Minard ait voulu contester l'importance des longs parcours et nier la nécessité de les favoriser en raccourcissant les distances. Ce que M. Minard a essayé de démontrer, et ce que, selon nous, il a parfaitement établi par ses tableaux, c'est que jusqu'alors on s'était fait une fausse idée de l'importance des localités intermédiaires lorsque, pour abrégé de quelques kilomètres le parcours de Paris au Havre, on faisait passer la ligne principale à une assez grande distance d'une ville comme Rouen, ou encore quand, pour gagner quelques minutes sur le trajet d'une grande ville à une autre, on rendait le service des points intermédiaires tellement difficile, que l'on risquait d'ôter aux voyageurs de ces localités toute envie de se déplacer. C'est aussi notre opinion et celle d'un grand nombre d'ingénieurs.

Ainsi, tout en appelant l'attention sur l'importance du rôle que jouent les produits des localités intermédiaires sur un grand nombre de lignes, nous sommes loin de prétendre qu'il faille dévier une grande ligne pour lui faire desservir les moindres bourgs; nous recommandons, au contraire, de bien fixer la valeur des produits que peut fournir une localité, avant de lui sacrifier la rapidité ou l'économie du parcours entre les localités extrêmes, ayant bien soin de tenir compte du parcours de chaque voyageur ou de chaque

tonne de marchandises autant que du nombre des voyageurs ou des tonnes de marchandises.

C'est ainsi que la Compagnie des chemins de fer de l'Est a cru devoir, en étudiant le tracé du chemin entre Paris et Mulhouse, le faire passer à plusieurs kilomètres de la ville de Provins, parce qu'elle a reconnu que, pour toucher à cette ville, il eût fallu se jeter dans des dépenses qui n'étaient nullement en rapport avec l'accroissement de produit auquel ce détour aurait donné lieu.

La note suivante enfin, qui nous a été fournie par M. Guillon, ingénieur distingué attaché au chemin de fer du Nord, vient encore à l'appui de cette opinion que, s'il ne faut pas négliger les centres importants de population, il ne faut pas non plus se jeter dans un excès contraire et s'exagérer le produit de certaines petites villes ou de certains gros villages.

« Un fait m'a frappé, dit M. Guillon, c'est que, dans le réseau du Nord, qui compte 110 stations, non compris les stations frontières, les dix villes les plus importantes, Paris, Lille, Boulogne, Valenciennes, Amiens, Dunkerque, Calais, Douai, Arras, Saint-Quentin, fournissent plus de 70 pour 100 du produit total du revenu; que les stations qui produisent moins de 200,000 francs de recette sont au nombre de 75 et ne participent aux produits annuels que dans la faible proportion de 8 pour 100, et que celles dont la recette ne dépasse pas 100,000 francs n'y participent que pour 4 pour 100 à peine. Or ces dernières forment exactement la moitié du nombre total des stations du réseau. Cela fait bien ressortir, ajoute M. Guillon, le rôle insignifiant qu'une localité de quatrième ou cinquième ordre joue dans l'exploitation d'un chemin de fer. »

Tracé des vallées et des plateaux. — Les tracés directs écartés en principe, on s'est demandé s'il convenait d'établir les chemins de fer à côté des rivières et des canaux. Les opinions se sont trouvées partagées. Les uns prétendaient que les chemins de fer, dans le voisinage des canaux, feraient double emploi; qu'en les construisant dans les mêmes directions on accumulerait les moyens de production sur quelques lignes, tandis qu'il valait mieux les disséminer autant que possible sur toute la surface du pays; que la lutte qui s'établirait alors entre les deux voies de communication rivales,

si elle n'était préjudiciable à l'une et à l'autre en même temps, finirait par être mortelle à l'une des deux; qu'ainsi tous les capitaux enfouis dans l'établissement de la voie qui aurait succombé seraient anéantis.

D'autres, loin de considérer le voisinage des voies navigables comme nuisible aux chemins de fer, le déclarèrent avantageux. Les chemins de fer ne sont, à leurs yeux, que le complément des canaux. Ils sont appelés à transporter à grande vitesse les voyageurs et les marchandises de roulage, ce que ne peuvent faire les canaux; mais à ces derniers appartient exclusivement le transport des marchandises de peu de valeur, transport qui ne peut s'opérer économiquement par les chemins de fer; ces voies, loin d'être rivales, se prêtent donc un mutuel appui.

Sans vouloir revenir ici sur la question de l'antagonisme des canaux et des chemins de fer, question que nous avons traitée précédemment, nous signalerons ce fait, que l'on ne saurait méconnaître : *c'est qu'un grand nombre de lignes importantes de chemins de fer, en Angleterre, en France et en Belgique, sont parallèles à des voies navigables, ou du moins en sont peu distantes.*

Comment, en effet, pouvait-il en être autrement, lorsqu'on reconnaissait que les chemins de fer devaient avant tout desservir les grands centres de population, lesquels sont presque tous placés sur le bord de voies navigables, et que c'était par exception seulement qu'il convenait de les diriger, dans un but d'avenir ou par des considérations stratégiques, au travers de contrées stériles et à peu près désertes?

Les grands courants de voyageurs et ceux de marchandises le plus souvent se superposent : les chemins de fer deviennent donc nécessaires précisément dans les directions que suivent déjà les voies navigables.

Qu'il soit juste, qu'il soit paternel de distribuer aussi également que possible la richesse à tous les habitants d'un pays, nous ne le nions pas; mais chaque localité possède des avantages qu'on ne saurait lui ravir.

Peut-être nous objectera-t-on que les premières lignes de chemins de fer, celles de Darlington, Saint-Étienne, etc., n'ont pas été

établies parallèlement à des voies navigables; nous répondrons que ce n'est pas à ce genre de chemins de fer, destinés plutôt au transport du charbon qu'à celui des voyageurs, que l'on a fait allusion lorsqu'on a proposé d'éloigner les chemins de fer des voies navigables. Il s'agissait alors des chemins de fer à grande vitesse pour le transport des voyageurs, et c'est aussi de ces chemins de fer exclusivement que nous entendons parler lorsque nous disons que les chemins de fer parallèles aux voies navigables très-fréquentées ont dû, à quelques exceptions près, mériter la priorité d'exécution.

M. le comte Daru, dans le rapport qu'il a rédigé sur le tracé du chemin de Lyon, exprime une opinion parfaitement semblable à la nôtre sur le parallélisme des chemins de fer et des voies navigables.

« Les voies à vapeur, dit-il, une fois leur classement arrêté, doivent être tracées dans le sens même et dans la direction que suivent aujourd'hui les grands mouvements de voyageurs et de marchandises, dirigés du centre sur les extrémités du territoire. Le signe distinctif des instruments nouveaux de locomotion étant une force d'attraction irrésistible, à laquelle tout cède, qui s'exerce à de longues distances, transforme toutes les industries, déplace toutes les habitudes, il pourrait bien se faire que de graves intérêts fussent compromis, si le gouvernement ne s'appliquait pas à ménager les transitions, à empêcher les changements trop brusques dans la situation économique du pays, s'il n'intervenait pas dans ce but en choisissant les tracés les plus propres à affecter les appareils locomoteurs aux besoins de la circulation déjà existante, sans essayer d'en troubler ni d'en contrarier le cours.

« Quels motifs, d'ailleurs, pourrait-il y avoir de lutter contre la pente naturelle des choses, et de créer, à l'aide d'un instrument nouveau, d'une manière artificielle et factice, une distribution nouvelle des richesses qui s'échangent entre les diverses parties d'un même empire?

« Vous le savez, messieurs, cette distribution des richesses ne s'opère pas au hasard, au gré et selon le caprice des producteurs ou des consommateurs. Presque toujours elle est le résultat nécessaire de la configuration même du pays, de l'existence des voies de communication naturelles ou artificielles, dirigées dans tel sens plutôt

que dans tel autre, par suite des accidents du terrain, et aussi du degré de richesse ou de fertilité inégalement répartie entre des contrées différentes.

« A combien de résistances, d'obstacles, de mécontentements sans cesse renaissants, ne s'exposerait-on pas si l'on allait s'attaquer à ces habitudes anciennes, formées en quelque sorte d'elles-mêmes et nécessairement ; si l'on avait la prétention de détruire ce que le temps a établi, de modifier ce que le cours naturel des choses a amené ! Ne penserez-vous pas avec nous, messieurs, que ce serait là une œuvre bien difficile à entreprendre, une lutte bien dangereuse à entamer, et, par-dessus tout, une chose impolitique, également mauvaise et par l'effet matériel et par l'effet moral qu'elle produirait ? Nous sommes donc d'avis qu'en thèse générale la meilleure direction d'un chemin de fer est celle qui se prête et se plie le mieux aux mouvements habituels de la circulation, qui en trouble le moins le cours, qui respecte le mieux la possession, les droits acquis, et va par conséquent chercher les voyageurs et les marchandises là où ils affluent, se porte là où les grands courants des transports ordinaires sont depuis plus longtemps établis et fixés. »

La préférence donnée par les ingénieurs aux grandes vallées arrosées par des cours navigables pour l'établissement des chemins de fer n'est pas absolue. On a reconnu qu'il pouvait être utile d'en établir, dans certains cas, sur des plateaux, perpendiculairement ou obliquement à ces vallées, et c'est surtout dans l'étude des nouvelles voies destinées à raccourcir le trajet que l'on s'est trouvé conduit à s'écarter des grands cours d'eau.

Ces voies transversales créent le trafic plutôt qu'elles ne profitent du trafic déjà existant.

Des chemins de ce genre déjà construits depuis plusieurs années les plus remarquables sont : en Angleterre, ceux de Londres à Brighton et à Southampton, de Newcastle à Carlisle et de Bristol à Exeter ; en Belgique, les lignes de Bruxelles à Valenciennes et de Bruxelles à Louvain, Liège et Cologne ; en France, les chemins de Paris à Orléans, d'Orléans à Limoges, d'Orléans à Bordeaux, de Metz à Forbach, de Paris à Mulhouse, de Blesmes à Gray.

Dans certains pays qui ne possèdent que peu ou point de naviga-

tion intérieure, comme l'Espagne, la Suisse, l'Italie, la Turquie, le principe que nous avons posé cesse de trouver son application, et le tracé des premières lignes importantes a dû prendre de préférence la direction que suivait le roulage.

Emplacement des gares extrêmes. — Parmi les questions qu'a soulevées l'étude du tracé des grandes lignes de chemins de fer, il en est une qui a donné lieu à de nombreux débats, celle de savoir jusqu'à quel point il convenait de prolonger le tracé des chemins de fer dans l'intérieur des villes pour se rapprocher de leur centre d'activité.

C'est renoncer sans doute à une partie des avantages attachés à la construction des chemins de fer que de ne pas les prolonger jusqu'au milieu même des grands centres de population ; mais à quelle énorme dépense n'entraîne pas l'établissement d'une gare de départ dans les quartiers commerçants d'une capitale ! Nous indiquerons plus loin quelle vaste étendue de terrain cette gare doit occuper si l'on ne veut rendre l'exploitation en même temps difficile, dangereuse et dispendieuse. Ce terrain seul et les constructions que nécessite le trajet du chemin de fer tout au travers de la cité peuvent coûter des sommes considérables.

La seule gare des voyageurs du chemin de Paris à Strasbourg, bien qu'établie dans un quartier voisin des barrières, où le terrain n'a pas encore acquis une très-grande valeur, a coûté à l'État environ 10,600,000 fr., dont 6 millions environ pour le terrain ; 1,900,000 fr. pour les terrassements et ouvrages d'art ; 2,900,000 fr. pour le bâtiment principal, les halles à marchandises et les remises ; et à la Compagnie, depuis l'époque où elle a pris livraison du chemin, 2,191,000 fr. ; ce qui fait pour la dépense totale d'établissement de cette gare, 12,799,500 fr. ¹.

¹ Cette dépense se subdivise exactement de la manière suivante :

DÉPENSES FAITES PAR L'ÉTAT.

Indemnités de terrains réglées par la décision du jury pour l'acquisition de 4 hectares 98 ar- 75 centiares.	5,795,000 fr.
Terrassements et ouvrages d'art, murs pour soutenir les terrains et rues qui entourent la gare.	4,498,000
A REPORTER.	7,291,000 fr.

La portion du chemin qui joint cette gare des voyageurs à la gare des marchandises de la Villette, bien que n'ayant pas au delà de près de 5 hectares, a coûté 3,110,000 fr. ¹.

Quant à la gare de la Villette, elle avait coûté à l'État, au moment où il l'a livrée à la Compagnie, 5,520,000 fr. ². Depuis cette époque, l'État a encore dépensé, pour de nouveaux hangars et des ateliers de carrosseries, qu'il devait fournir à la Compagnie, 867,500 fr. ³.

	REPORT.	7,291,000 fr.
Abaissment et reconstruction de la galerie de l'aqueduc Saint-Laurent, pavage et trottoirs des voies publiques ouvertes ou élargies aux abords de la gare.		418,000
Construction du bâtiment principal de la gare, y compris la halle couverte.		2,171,000
Construction de deux halles à marchandises grande vitesse et de deux remises pour les locomotives et les voitures.		198,800
Nivellements, pavages et trottoirs des cours, égouts, clôtures, pavillons de gardiens, réservoirs d'eau, quais de chaises de poste, latrines, etc.		529,500
	TOTAL.	<u>10,608,500 fr.</u>

DÉPENSES FAITES PAR LA COMPAGNIE.

Installations diverses des bureaux et logements, etc. Hangars divers et déplacements des hangars en tête de la halle, bureau de la douane et logement des employés, agrandissement de la salle de bagages. Nouveaux bureaux en surélévation.		1,555,000 fr.
Dépenses pour le chauffage. Établissement de calorifères.		75,000
Éclairage au gaz.		85,000
	TOTAL.	<u>1,691,000 fr.</u>

On a dépensé en outre :

1° Pour l'établissement des conduites d'eau.	35,000 fr.
2° Pour les voies de fer, plaques tournantes, changements et croisements de voie.	465,000
	TOTAL.
	<u>500,000 fr.</u>

¹ On subdivise cette dépense comme suit :

Terrain, 2 hectares 9 ares 32 centiares.	1,775,000 fr.
Terrassements et ouvrages d'art.	1,337,000
	TOTAL.
	<u>3,110,000 fr.</u>

² Cette dépense se compose des éléments suivants :

Terrain, 18 hectares 69 ares.	2,662,000 fr.
Terrassements et ouvrages d'art.	1,088,000
Halles à marchandises, cours et clôtures.	1,000,000
Remises de locomotives, remises de wagons et ateliers de petite réparation.	570,000
	TOTAL.
	<u>5,320,000 fr.</u>

³ Décomposés comme suit :

Nouvelles halles avec pavage.	507,500 fr.
Carrosserie et dépendances, magasin, maison d'habitation, etc.	560,000
	TOTAL.
	<u>867,500 fr.</u>

La Compagnie elle-même a dépensé, pour différents travaux, 2,122,500 fr. ¹.

En résumé, à la fin de 1858, la gare de Paris avait coûté, tant à l'État qu'à la Compagnie. 12,799,500 fr.

La partie intermédiaire. 5,110,000

Celle de la Villette. 8,510,000

Les deux gares ensemble avec la portion de chemin qui les réunit. 24,219,000

Non compris les voies, plaques tournantes et changements de voies, dont on porte la valeur à. 1,400,000

TOTAL. 25,619,000 fr.

Ces deux gares, toutes coûteuses qu'elles sont, suffiront-elles au service des chemins de Strasbourg et de Mulhouse? La Compagnie a acheté des terrains pour agrandir les gares de Paris et de la Villette, et elle a commencé des travaux importants dans le but d'y rendre le service plus facile ².

Le devis des travaux restant à faire à Paris et à la Vilette, publié dans la seconde édition de cet ouvrage, avait été rédigé dans l'hypothèse d'agrandissements considérables du réseau de l'Est. Ces agrandissements ayant été ajournés, le devis s'est trouvé naturellement réduit.

Pour réduire autant que possible les frais de construction des

¹ Décomposés comme suit :

Fondations de plaques, etc.	2,002,000 fr.
Installations diverses et appropriations.	48,000
Calorifères.	5,000
Éclairage des halles et des ateliers.	67,500

TOTAL. 2,122,500 fr.

² La Compagnie, depuis cette époque, a agrandi la gare des voyageurs de 1.17 hectares, coûtant. 4,423,900 fr.

Les constructions faites dans le même laps de temps ont coûté. 1,414,500

À la Villette, les terrains achetés depuis le 15 novembre 1854 au 31 décembre 1860. 921,500

Les dépenses faites dans le même laps de temps pour constructions nouvelles, poses de voies, etc., s'élèvent à. 5,010,500

Celles restant à faire sont estimées. 2,500,000

TOTAL des dépenses faites ou à faire pour les deux gares. 9,270,400 fr.

gares extrêmes, et afin d'éviter les droits d'octroi pour les marchandises, on a placé les gares de marchandises des chemins qui partent de Paris en dehors du mur d'enceinte, et les gares de voyageurs à une assez grande distance du centre de la ville.

Mais l'agrandissement récent de la ville de Paris leur a fait perdre le second de ces avantages; aussi les Compagnies achèteront-elles probablement du terrain en dehors des fortifications pour y créer des annexes à leurs anciennes gares de marchandises.

La Compagnie du chemin de fer de l'Est est déjà en marché pour un certain nombre de parcelles extérieures aux barrières dont la surface est d'environ 12 hectares

D'un autre côté, si l'éloignement des gares est sans importance réelle pour le public lorsque la ligne est d'une grande longueur, il y a lieu de craindre que les voyageurs, obligés à de longs trajets en voiture pour parvenir aux nouvelles voies, ne leur préfèrent, pour de courtes distances, les anciennes routes.

C'est ce qui serait arrivé inévitablement pour le chemin de fer de Vincennes, si, comme on en avait d'abord le projet, on eût placé la gare terminale de ce chemin au boulevard Mazas, à 900 mètres de la place de la Bastille.

On ne doit donc fixer définitivement l'emplacement d'une gare extrême qu'après avoir comparé aussi bien que possible l'accroissement des dépenses provenant de son plus ou moins de proximité du centre d'une ville à l'accroissement probable des produits correspondants.

C'est en établissant ainsi la balance des dépenses et des revenus que la Compagnie du chemin de Saint-Germain a renoncé, très-sagement selon nous, au projet qu'elle avait formé de prolonger la voie jusqu'à la rue Tronchet, et celle du chemin de Versailles (rive gauche) jusqu'à la place Saint-Sulpice.

La Compagnie du chemin de Liverpool à Manchester a été conduite par un calcul semblable à une conclusion contraire : le chemin aboutissant à l'un des faubourgs de Liverpool, la Compagnie, au moyen de souterrains, a détaché du tronc principal trois branches, dont deux vers le port pour les marchandises, et l'autre, pour les voyageurs, vers le centre de la ville.

Les Compagnies anglaises, en général, ont fait, dans ces dernières années, des sacrifices considérables pour se rapprocher du centre des villes. M. Bassompierre, dans un excellent article sur la pénétration des chemins de fer dans les villes¹, a tracé un tableau complet des travaux immenses exécutés par ces Compagnies pour atteindre le cœur même des populations.

Gares communes. — L'établissement des gares extrêmes dans une grande ville nécessitant souvent, comme nous venons de le constater, des dépenses énormes, on a été conduit à examiner si, en réunissant plusieurs chemins de fer dans une gare commune et en faisant le service sur les mêmes trottoirs et les mêmes rails, on ne réaliserait pas de grandes économies. Cette question a été agitée vivement, surtout à l'occasion du chemin de fer de Lyon, que l'on voulait faire aboutir à Paris dans la gare du chemin de fer d'Orléans; et du chemin de fer de Strasbourg, dont on a proposé de réunir la gare de Paris à celle du chemin de fer du Nord.

Il y a non-seulement une grande économie de construction à concentrer le service de deux ou plusieurs chemins de fer dans une même gare commune; il y a aussi économie notable de frais d'exploitation, car il est alors nécessaire, pour éviter la confusion, de réunir le service des différentes lignes dans les mains d'un personnel unique.

La fusion des gares extrêmes de chemins de fer est donc réellement avantageuse toutes les fois que le service de ces différentes lignes peut se faire sur les mêmes rails et sur les mêmes trottoirs; aussi pensons-nous que le gouvernement a sagement fait en renonçant au projet d'établir à Strasbourg deux gares distinctes pour les chemins de Bâle à Strasbourg et de Paris à Strasbourg; mais doit-on regretter que la gare du chemin de Lyon n'ait pas été réunie à celle du chemin d'Orléans, et celle du chemin de Strasbourg à celle du chemin du Nord? Nous ne le croyons pas. Quand on calcule le nombre considérable de convois qui circulent sur ces grandes voies de communication, et quand on songe qu'il y a des heures de départ pour ainsi dire forcées pour certains convois, marchant sur

¹ *Journal des chemins de fer*, 25 novembre 1854.

des lignes différentes, on reconnaît qu'il eût été impossible de faire convenablement le service du chemin de Lyon et du chemin d'Orléans, du chemin du Nord et du chemin de Strasbourg sur les mêmes rails et sur les mêmes trottoirs. De là la nécessité d'établir des voies, des trottoirs, des salles d'attente même distinctes, desservies par un personnel spécial. La gare commune ne serait devenue alors que la réunion de deux gares contiguës et aurait perdu la majeure partie de ses avantages. Elle n'aurait conservé que celui de faciliter le passage des voyageurs et des marchandises d'un chemin sur l'autre sans transbordement ; mais on évite également ce transbordement en réunissant les gares distinctes par un chemin de jonction, comme on l'a fait pour les chemins qui aboutissent à Paris.

Nous ne saurions donc conseiller la communauté des gares que pour des chemins de fer où la circulation n'a pas l'extrême activité qu'elle a prise sur nos grandes lignes.

Pentes et rayons de courbure. — Si l'économie est de rigueur dans la construction des voies de communication toutes les fois qu'elle n'en compromet pas l'avenir, elle serait, au contraire, fort blâmable lorsque, pour un intérêt du moment, elle exposerait à un préjudice grave dans les temps futurs.

Ainsi, en Angleterre, on a commis une grande faute dont on supporte aujourd'hui toutes les conséquences, lorsque, sans se préoccuper de l'accroissement du commerce, on a ouvert, il y a une cinquantaine d'années, les canaux dans les dimensions insuffisantes de la petite section.

On ferait une faute semblable si on calculait les pentes et les rayons de courbure des chemins de fer dans la seule pensée d'établir l'équilibre entre les dépenses et les produits.

Les lignes du premier ordre, étant appelées, sans aucun doute, à provoquer d'immenses développements dans l'industrie et le trafic, doivent être établies avec un certain luxe. Si l'on peut, dans quelques années, remplacer un tronc commun par une voie spéciale, il n'est pas également possible de substituer à des pentes trop fortes des pentes plus faibles, ou, du moins, ce n'est possible que dans certains cas particuliers. *Il faut donc, dès à présent, dans*

le tracé des lignes principales, se résigner à quelques sacrifices pour réduire l'inclinaison des rampes et pour agrandir le rayon des courbes.

Nous ne prétendons pas cependant imposer ici une règle absolue. Les sacrifices ont aussi leurs limites, et, avec des machines suffisamment puissantes, les fortes pentes, pourvu qu'elles ne dépassent pas un maximum que nous avons indiqué p. 106, n'exerceront pas sur les frais d'exploitation une influence à beaucoup près aussi grande que celle qu'on leur avait supposée dans l'origine.

On ne craint pas aujourd'hui de construire même des lignes de premier ordre, avec des pentes que l'on avait considérées comme entièrement inadmissibles il y a quelques années.

M. Teisserenc a publié sur l'influence des pentes un travail fort intéressant, d'où il résulterait que, au-dessous d'une certaine limite, l'inclinaison des rampes, sur les lignes à grande vitesse consacrées au transport des voyageurs et des marchandises, n'augmenterait en aucune manière les frais d'exploitation, et que même elle semblerait les diminuer, puisque, en comparant la dépense de plusieurs chemins anglais, on trouve qu'elle est plus faible sur les chemins à forte pente que sur ceux à pente douce.

Le même auteur explique cette espèce de paradoxe en présentant une série de tableaux de la composition desquels il tire comme conséquence :

1° Que le poids des convois qu'il a fallu multiplier pour les besoins du commerce est presque toujours inférieur à celui que les locomotives remorquent sans grande difficulté sur les lignes à faibles pentes ; que, par conséquent, ces machines peuvent franchir aisément des pentes de 7, 8 et 9 millimètres.

2° Que, dans le cas des rampes plus fortes qui ne peuvent être gravies qu'au moyen d'un ralentissement de la marche, le temps perdu est économiquement retrouvé dans le passage sur la contre-pente, dont la déclivité sert de moteur gratuit et permet d'atteindre une grande vitesse.

3° Que les cas d'affluence de voyageurs ou de marchandises nécessitant l'adjonction de machines de renfort sont aussi fréquents, si ce n'est plus, sur les chemins à faibles pentes que sur les autres.

4° Que, sur les chemins à fortes pentes, l'entretien de la voie coûte moins que sur ceux de niveau, parce que ceux-ci n'ont été amenés à ce point de perfection qu'au moyen de grands travaux de terrassements, remblais ou tranchées, constamment menacés par des éboulements ou des crevasses qui compromettent la sécurité des voyageurs et augmentent considérablement les frais d'entretien.

5° Enfin, que les dépenses supplémentaires des chemins à fortes pentes rendent obligatoire un système général d'économie qui agit si heureusement sur toutes les parties de leur administration, qu'avec des recettes brutes moins élevées ils arrivent à distribuer des dividendes plus forts.

Nous sommes bien d'accord avec M. Teisserenc en ce sens que nous pensons comme lui que l'accroissement des pentes, jusqu'aux limites qu'il indique et sur les grandes lignes où l'on transporte en même temps les voyageurs et les marchandises, n'a pas sur les frais d'exploitation une influence aussi sensible qu'on le croyait ; mais nous ne saurions admettre en principe, comme il le fait, que cette influence est absolument nulle, et, bien moins encore, que la dépense diminue lorsque les pentes augmentent.

Et d'abord remarquons que ce qui peut être vrai pour l'Angleterre ne l'est pas pour la France. Si, en Angleterre, les besoins du commerce ont obligé de multiplier les convois de voyageurs à tel point que la force des locomotives est plus que suffisante pour remonter sans ralentissement des pentes de 7, 8 et 9 millimètres, il n'en est pas de même en France.

Ainsi, d'après M. Teisserenc, la charge moyenne d'un convoi de voyageurs était au moment où il écrivait :

Sur les chemins anglais, de. . . .	55 tonnes.
Sur les chemins français, de. . . .	75 »
Sur les chemins allemands, de. . . .	100 »

Dira-t-on que, pour traîner les lourds convois, on emploiera de plus fortes machines ? Ces machines seront plus lourdes, elles fatigueront davantage la voie et consommeront plus de combustible.

L'accroissement de la dépense ne sera pas proportionnel à leur poids, mais il s'en faudra qu'il soit nul¹.

Même observation si l'on se sert des machines à détente variable, généralement usitées aujourd'hui. Quand ces machines remorquent de lourds convois sur de fortes pentes, elles détendent peu et rentrent dès lors dans les conditions de marche des anciennes machines. Elles ne peuvent donc développer le travail nécessaire pendant un temps un peu considérable qu'à la condition d'être munies de chaudières très-grandes et par conséquent très-lourdes.

Ajoutons que si la charge des convois est variable, il vaut mieux employer des machines moins lourdes et y adjoindre des machines de renfort en cas de surcharge.

S'il faut se défier des théories qui ne s'appuient pas sur des faits, il faut également n'admettre qu'avec une grande réserve les conséquences que l'on prétend tirer de données statistiques toujours plus ou moins imparfaites et sujettes à des interprétations diverses. Les différents chemins que M. Teisserenc a cités dans ses tableaux ne sont pas dans les mêmes conditions, et il est probable que si on pouvait se procurer le compte détaillé de leurs frais d'exploitation, et qu'on les comparât soigneusement, on parviendrait à expliquer, autrement qu'il ne l'a fait, l'anomalie qui paraît exister dans les frais de locomotion sur les chemins à faibles ou à fortes pentes. Nous ne nous livrerons pas cependant à des investigations qui nous présenteraient des difficultés probablement insurmontables.

Les données suivantes, fournies par la comptabilité des chemins de fer de Strasbourg et d'Orléans, nous conduiront d'une manière plus sûre à déterminer l'influence des pentes sur la dépense de traction².

Sur le chemin de Strasbourg, on rencontre, entre Bar-le-Duc et Commercy, deux rampes de 8 millimètres inclinées en sens contraire; la première, en partant de Paris, a 10,250 mètres de longueur, et l'autre 9,840 mètres.

Les convois, lorsqu'ils sont trop lourds pour être remorqués au

¹ Voir la note sur les frais de traction du chemin de Reims, page 135.

² Voir aussi les renseignements que nous donnons plus loin, p. 136, sur les frais d'exploitation du chemin de Turin à Gènes.

passage de ces rampes par une seule locomotive, sont aidés par des machines de renfort toujours allumées, les unes stationnant dans le dépôt de Bar-le-Duc, à 12 kilomètres du pied de la première, et les autres dans celui de Lérouville, placé au pied de la seconde. La dépense totale qu'entraîne l'usage de ces machines est de 140,000 fr. ; le surcroît de dépense pour l'entretien, la police et le renouvellement des voies, est d'environ 20,000 fr.¹. La dépense supplémentaire totale est donc de 160,000 fr.

Le nombre de kilomètres parcourus par les convois qui font usage de machines de renfort est d'environ 47,000 kilomètres sur chacune des rampes, soit, sur les deux rampes, 94,000 kilomètres. La dépense supplémentaire occasionnée par les plans inclinés est donc par kilomètre de 160,000 fr., divisés par 94,000, c'est-à-dire 1 fr. 70 cent.

Les frais de traction et d'entretien de la voie pour un convoi sur les pentes ordinaires maxima de 5 millimètres étant d'environ 1 fr. 20 cent. par kilomètre, ces mêmes frais se trouvent ainsi plus que doublés au passage des plans inclinés.

Toutefois, si la longueur des rampes était plus grande, les mêmes machines de renfort, pourvu que cette longueur ne dépassât pas certaines limites, suffiraient pour en faire le service.

Au chemin de Strasbourg, le dépôt de Lérouville ou un dépôt voisin à Commercy, par exemple, eût été nécessaire, lors même que les rampes n'eussent pas existé. On peut en dire autant du dépôt de Bar-le-Duc. Nous n'avons en conséquence compris, dans la dépense supplémentaire, ni l'intérêt du capital des dépôts, ni le traitement des chefs de dépôt.

Sur le chemin d'Orléans, au contraire, d'après M. Polonceau, ingénieur en chef du matériel de ce chemin, on a été forcé d'établir un dépôt spécial pour le service de la rampe d'Étampes ; en sorte qu'ayant égard à cette circonstance et observant que la fréquence

¹ Les frais d'entretien et de police de la voie sur de faibles pentes du chemin de Strasbourg étant de 2,500 fr. par kilomètre, nous avons supposé un accroissement de 20 pour 100, soit de 500 fr., sur les rampes de 8 millimètres. A ces 500 fr. il faut en ajouter autant pour augmentation des frais de renouvellement de matériel fixe, ce qui fait en tout 1,000 fr. par kilomètre de dépense supplémentaire applicable au service de la voie. et 20,000 fr. environ pour les deux rampes.

des convois sur le chemin d'Orléans exige la présence de trois machines dans le dépôt d'Étampes, au lieu de deux qui suffisent dans les dépôts du chemin de Strasbourg, on trouve que le supplément de dépense occasionné sur le chemin d'Orléans par la seule rampe d'Étampes est, pour la traction seulement, de 152,000 fr., ce qui diffère peu de celle que nécessite le passage des deux rampes en sens contraire du chemin de Strasbourg.

A ce surcroît de dépense il faudrait encore ajouter l'accroissement des frais d'entretien, de police et de renouvellement des voies.

Sur le chemin d'Épernay à Reims ¹, on trouve aussi deux rampes de 9 millimètres inclinées en sens contraire, longues de 19,000

¹ Le service de la ligne d'Épernay à Reims comprend trois trains de voyageurs ou mixtes et deux trains de marchandises.

Les trains de voyageurs, à raison du profil en rampes, ne peuvent se faire qu'à l'aide de machines mixtes. Ces machines consomment au moins 2 kilogrammes de coke de plus que les machines à roues libres, et l'usure des bandages beaucoup plus considérable, ainsi que celle des diverses pièces du mécanisme, conduit à un entretien plus coûteux d'environ 4 centimes par kilomètre. Ainsi l'on a : trois trains, à raison de 60 kilomètres, aller et retour, effectuent 180 kilomètres.

Excédant de consommation de coke : 2 kilogrammes à 4 centimes par kilomètre, ou 8 centimes, et pour 180 kilomètres.	14 fr. 40 c.
Usure du bandage, etc., à 4 centimes pour 180 kilomètres.	7 20

TOTAL.	21 fr. 60 c.
----------------	--------------

Quant aux machines à marchandises, elles ne remorquent que la moitié de la charge ordinaire. Donc la dépense de traction est doublée. Cette dépense, pour un train de marchandises, est d'au moins 1 franc 10 centimes. La dépense totale pour deux trains, ou 120 kilomètres, est de 132 francs, dont la moitié, 66 francs, représente l'excédant occasionné par la rampe.

Ainsi, on a par jour :

Excédant pour le service des trains mixtes.	21 fr. 60 c.
— — des marchandises.	66
TOTAL.	87 fr. 60 c.

Et pour l'année.	31,974 fr.
--------------------------	------------

À cela, il faut ajouter :

1° L'intérêt et l'amortissement du capital d'acquisition de deux machines et de deux tenders qu'exige un service par petits trains, soit.	14,500
2° L'accroissement des frais d'entretien, police et renouvellement de la voie, estimé à 1,000 francs par kilomètre, soit, par 19 kilomètres de rampe.	19,000
TOTAL.	65,474 fr.

Le parcours total effectué chaque année étant de 87,600 kilomètres, on a, par kilomètre, environ 75 centimes d'augmentation de dépense.

mètres ; la première, du côté d'Épernay, d'environ 11,000 mètres de longueur, et l'autre, du côté de Reims, d'environ 8,000 mètres. L'existence de ces deux rampes entraîne un accroissement de frais de 65,474 fr. au moins, qui pèse lourdement sur l'exploitation du chemin de Reims.

Un accroissement de pente de 2 millimètres seulement donne lieu à un accroissement de dépenses déjà sensible.

Ainsi, dans une note annexée au projet de la ligne de Boulogne à Calais, M. Guillon établit que, en substituant la déclivité de 0,008 à celle de 0,010 dans presque toute l'étendue du chemin, on réduirait les frais d'exploitation de 20 pour 100, c'est-à-dire que ces frais seraient à peu près proportionnels aux déclivités.

S'agit-il de pentes atteignant 2 ou 3 centimètres, telles qu'on en rencontre quelquefois dans les pays de montagnes, la dépense devient énorme.

M. Koller, ancien élève de l'École centrale, ingénieur en second au chemin de fer central (Suisse), qui a étudié l'exploitation du chemin de Turin à Gènes, où l'on trouve de fortes pentes, a bien voulu nous communiquer des données du plus grand intérêt sur la dépense. Il résulte de ces données :

1° Que sur la partie comprise entre Gènes et Pontedecimo, où la pente moyenne est de 5^{mm}8, et la pente maxima de 14^{mm}, et les courbes de 400 à 500 mètres de rayon,

La dépense pour le transport des voyageurs est, par voiture de voyageurs à 1 kilomètre, de.	0 fr. 19
Par tonne brute à 1 kilomètre, de.	0 029

2° Que, sur la même partie du chemin, la dépense pour le transport des marchandises est, par wagon, à 1 kilomètre, pour monter et descendre, de.	0 fr. 20
Par tonne brute, en montant, de.	0 058
Par tonne nette, en montant, de.	0 061
en admettant, pour les deux cas, le mouvement nul en descendant ¹ .	

¹ La dépense, pour le transport des voyageurs et des marchandises à Gènes et Pontedecimo, se décompose de la manière suivante :

Le nombre de wagons de voyageurs transportés à 1 kilomètre étant de. . . 57,450

3° Que sur la portion du chemin de Pontedecimo à Busalla, la pente moyenne étant de. 28^{mm}, 2
 La pente maxima, de. 35
 A ciel ouvert, de. 35
 En souterrain, de. 28 7
 Et les courbes ayant généralement de 400 à 500 mètres de rayon, le transport des voyageurs a coûté, par wagon, à 1 kilomètre. 0 fr. 37
 Par tonne brute, d°. 0 057

4° Que, sur la même partie du chemin, le transport des marchandises a coûté, par wagon, à 1 kilomètre. 0 fr. 49

Le nombre de tonnes brutes de. 373,424
 On trouve, pour les

FRAIS DES CONVOIS DE VOYAGEURS

1° Pour surveillance et entretien de la voie.	2,645 fr. 60 c.
2° Pour traction, le coke coûtant 65 cent. le kilog.	5,105
3° Pour réparation des machines, 4,500 kilomètres à 55 cent.	4,505
4° Pour réparation des voitures, 57,450 kilomètres à 16 millimes par voiture et par kilomètre.	919 20
5° Pour gardes-convois.	550
	<hr/>
	10,724 fr. 80 c.

Une voiture de voyageurs transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{10,724 \text{ fr. } 80 \text{ c.}}{57,450} = 0 \text{ fr. } 19 \text{ cent.}$, ou bien par tonne brute 0 fr. 029.

Le nombre de wagons transportés à 1 kilom. étant de.	66,297
Le nombre de tonnes brutes de.	318,048
Celui de tonnes nettes de.	217,564
On trouve pour les	

FRAIS DES CONVOIS DE MARCHANDISES

1° Pour surveillance et entretien de la voie.	5,482 fr. 40 c.
2° Pour traction, le coke coûtant 0 fr. 65 cent. le kilog.	6,719 80
3° Pour réparation des machines, 6,550 kilom., à 0 fr. 35 cent.	4,981
4° Pour réparation des wagons, 66,297 kilom. à 0 fr. 015 cent.	864 86
5° Pour deux gardes de marchandises.	200
	<hr/>
	15,245 fr. 06 c.

Une voiture de marchandises transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{15,245 \text{ fr. } 06 \text{ c.}}{66,297} = 0 \text{ fr. } 20 \text{ cent.}$ pour monter et descendre.

La tonne brute revient à 0 fr. 058 par kilomètre en montant;
 La tonne nette à 0 fr. 061 cent. en montant;
 en admettant, pour les deux cas, le mouvement nul en descendant.

Par tonne brute.	0	092
Par tonne nette ¹	0	149

D'où il suit que :

5° Sur la partie où la pente atteint 5 1/2 centièmes, les courbes ayant de 400 à 500 mètres de rayon, la dépense est, pour les trains de voyageurs, le double de ce qu'elle est sur d'autres portions de la ligne où le maximum de l'inclinaison n'est que de 5^{mm},8, et, pour ceux de marchandises, égale à deux fois et demie cette dépense.

¹ La dépense, pour le transport des voyageurs et des marchandises, se décompose de la manière suivante :

Le nombre des wagons transportés à 1 kilomètre de Pontedecimo à Busalla étant de.	20,895
Celui des tonnes brutes de.	135,806
On trouve pour les	

FRAIS DES CONVOIS DE VOYAGEURS

1° Surveillance et entretien de la voie.	1,418 fr. 10 c.
2° Traction.	4,212 01
3° Réparation des machines, 1,974 kilom. à 0 fr. 80 cent.	1,579 20
4° Réparation des voitures, 20,895 kilom. à 0 fr. 16 cent.	554 32
5° Gardes-convois.	200
	<hr/>
	7,773 fr. 65 c.

Une voiture de voyageurs transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{7,773 \text{ fr. } 65 \text{ c.}}{20,895} = 0 \text{ fr. } 37 \text{ cent.}$, ou bien par tonne brute 0 fr. 057 c.

Le nombre des wagons de marchandises transportés à 1 kilomètre étant de.	57,477
Le nombre de tonnes brutes.	501,749
Celui de tonnes nettes.	186,795
On trouve pour les	

FRAIS DES CONVOIS DE MARCHANDISES

1° Surveillance et entretien de la voie.	5,391 fr. 90 c.
2° Traction.	15,685 04
3° Réparation des machines, 7,350 kilom., à 0 fr. 80 cent.	5,880
4° Réparation des wagons, 57,477 (1), à 0 fr. 015 cent.	717 20
5° Gardes-convois.	200
	<hr/>
	27,902 fr. 14 c.

(1) $57,477 = 10,5 \times 2 \times 2,737$.

Une voiture de marchandises transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{27,902 \text{ fr. } 14 \text{ c.}}{57,477} = 0 \text{ fr. } 49 \text{ c.}$ pour monter et descendre.

La tonne brute revient à $\frac{27,902 \text{ fr. } 14 \text{ c.}}{10,5 \times 28,758} = 0 \text{ fr. } 092 \text{ m.}$ par kilom. en montant;

La tonne nette $\frac{27,902 \text{ fr. } 14 \text{ c.}}{10,5 \times 17,790} = 0 \text{ fr. } 149 \text{ m.}$ par kilom. en montant;

Le mouvement des marchandises en descendant étant supposé nul.

Le prix de 0,57 par wagon de voyageurs à 1 kilomètre ferait ressortir le prix du voyageur à 1 kilomètre, si le wagon renfermant 24 voyageurs était entièrement plein, à 1^e,5 environ, ou, si le wagon ne portait moyennement que la moitié de sa charge, à 3 centimes. Ce prix laisserait encore un bénéfice raisonnable en France, où le tarif moyen payé par les voyageurs est de 6 ou 7 centimes par kilomètre.

Quant aux marchandises, il y en a beaucoup qui supporteraient difficilement un tarif qui devrait nécessairement dépasser 15 centimes par kilomètre, du moins sur un chemin où la pente de 5 1/2 centièmes dominerait.

Mais des pentes aussi fortes ne se rencontrant que sur une partie du parcours, le tarif ne se réglerait que sur une dépense moyenne inférieure, dépendant de leur longueur relative.

Les chiffres fournis par M. Koller expriment les résultats d'expériences faites avec le plus grand soin pendant un mois sur le chemin de Turin à Gênes ; on a trouvé, en 1854, pour la moyenne de la dépense de toute l'année :

	En montant.	En montant et descendant.	En moyenne, de Turin à Gênes.
Par voyageur à 1 kilomètre. . . .	0 fr. 085 m.	0 fr. 045 m.	0 fr. 027 m.
Par tonne de bagages et messagerie.	0 » 271	0 » 181	0 » 155
Tonne de marchandises à petite vitesse.	0 » 145	0 » 109	0 » 069
Équipages.	0 » 802	0 » 498	0 » 241
Vièces de bétail, grande vitesse. .	0 » 264	0 » 066	0 » 055
Id. petite vitesse. . .	0 » »	0 » 020	0 » 018

Sur le chemin de Vienne à Trieste, au Sœmmering, bien que la pente soit moins forte qu'au chemin de Turin à Gênes, puisqu'elle ne dépasse pas 2 1/2 centièmes, le rayon des courbes descendant à 180 mètres, la dépense est, proportion gardée, plus élevée que sur le chemin piémontais.

Sur le chemin saxo-bavarois, on estime que la dépense sur les pentes de 2 1/2 centièmes est égale à peu près à deux fois et demie celle sur les pentes de 1 centième. (Voir plus loin la description du tracé de ce chemin.)

Sur le chemin de Rohrschach à Saint-Gall, la pente moyenne étant de 17 millimètres 70 millièmes, la pente maxima de 20 millimètres, le rayon moyen des courbes de 590 mètres, et le rayon minimum de 240 mètres, la dépense est, d'après M. Koller, deux fois et demie aussi forte que sur le chemin de Vintherthur à Saint-Gall, où la pente ne dépasse pas 6 1/2 millimètres et où les courbes sont d'assez grand rayon.

Si la dépense moyenne d'exploitation sur les différents chemins que nous venons de citer ne croit pas avec la pente exactement dans le même rapport, cela tient à la différence des rayons de courbure, au rapport variable du nombre des trains de voyageurs à celui des trains de marchandises, à la charge différente des trains sur ces chemins, à la vitesse également différente sur chaque ligne, etc., etc.

Des données qui précèdent on peut conclure :

1° Que, sur un chemin dont la pente, dans une grande partie de la longueur, serait de 7 à 8 millimètres et au delà, et dont les convois, généralement chargés à la remonte, nécessiteraient l'emploi fréquent d'une machine de renfort, ou celui d'une machine très-puissante, tel, par exemple, que le chemin projeté de Thionville à Arlon, ou le chemin d'Épernay à Reims, les frais de traction seraient notablement plus élevés que sur un chemin à faible pente.

2° Que, sur un chemin également incliné, mais où les convois remontants seraient le plus faiblement chargés, comme, par exemple, sur les deux chemins de Versailles, l'influence de la pente sur la dépense serait beaucoup moins sensible.

3° Que les frais de traction seraient aussi moins élevés si, comme au chemin de Saint-Étienne à Lyon et sur la plupart des chemins destinés au transport de la houille, les convois de marchandises chargés marchaient presque exclusivement à la descente.

4° Que, sur des pentes de 0,025 à 0,055 millimètres, la dépense devient énorme, et que, par conséquent, on ne saurait songer à adopter des pentes aussi fortes sur toute l'étendue des lignes d'une certaine longueur.

5° Qu'il faut chercher à concentrer les rampes d'une certaine inclinaison sur un certain point en leur donnant une grande longueur plutôt que de les multiplier en les raccourcissant.

6° Qu'il faut, autant que possible, placer l'origine des fortes rampes en un point où le service de la ligne nécessiterait un dépôt, lors même que les pentes dans le voisinage seraient faibles¹.

7° Que l'accroissement des frais de traction résultant du passage de rampes de 8 à 10 millimètres d'une certaine longueur sur un chemin comme celui de Strasbourg, où la totalité des frais de traction s'élève déjà en ce moment à 4,000,000 de francs, est insignifiant.

8° Que l'adoption de ces rampes sur le chemin de Strasbourg est suffisamment motivée par la dépense excessive qu'il eût fallu faire pour réduire l'inclinaison à 5 millimètres, dépense qui eût de beaucoup dépassé le capital dont l'intérêt égale l'accroissement ci-dessus indiqué des frais de traction.

M. Teisserenc peut alléguer sans doute à l'appui de son opinion que, pour les grandes vitesses, la résistance qu'oppose l'air à la marche des convois absorbant une partie considérable du travail développé par les moteurs, les trains de voyageurs pourront être remorqués sur de fortes rampes par des machines de puissance ordinaire moyennant un ralentissement convenable. Mais ce fait cesse d'être vrai pour les convois de marchandises marchant à une vitesse moyenne de 7 mètres par seconde.

Dans cette dernière condition, la résistance de l'air n'est plus qu'une fraction peu importante de l'effort de traction total, et il en résulte que, malgré une diminution notable de vitesse, la résistance totale du convoi croît très-rapidement avec l'inclinaison de la voie.

Or il est reconnu que le transport des marchandises n'est réellement avantageux que s'il se fait à charges complètes.

Il devient donc évident que les convois de marchandises auront besoin, sur les parties les plus inclinées de la voie, de tout le tra-

¹ Dans un premier projet étudié pour l'établissement d'un chemin de fer de Nancy à Épinal, on avait admis plusieurs rampes de 10 à 12 millimètres placées à une certaine distance les unes des autres, et dont chacune aurait nécessité la construction d'un dépôt spécial. Dans un nouveau projet mis à exécution, toutes ces rampes ont été concentrées sur un seul point voisin de la bifurcation de la ligne d'Épinal avec la ligne principale de Paris à Strasbourg, bifurcation placée à Blainville, où il existait déjà un dépôt indispensable pour le service de la grande ligne.

vail que peut développer la machine, et qu'ils ne pourront franchir les fortes rampes qu'à l'aide de machines de renfort.

M. Lechatelier professe une opinion semblable à la nôtre sur l'influence des pentes en ce qui concerne les frais d'exploitation; voici les termes dans lesquels il s'exprime dans son ouvrage sur les chemins de fer d'Allemagne :

« Les fortes pentes sont nécessairement une source de dépenses pour l'exploitation des chemins de fer. On ne doit évidemment les admettre dans un tracé qu'autant que les frais de travaux d'art et de terrassement nécessaires pour les éviter sont beaucoup plus considérables que le capital correspondant à l'augmentation des frais d'exploitation prévus. Il ne suffit pas que les charges imposées à la traction paraissent être sensiblement inférieures à l'intérêt du capital excédant qui serait déboursé pour éviter ces pentes; il faut tenir compte aussi du développement progressif des chemins de fer, de l'importance inappréciable aujourd'hui que prendra leur trafic dans un certain nombre d'années, et ne sacrifier l'exploitation qu'en présence d'économies considérables à réaliser sur la construction. »

M. le comte Daru, dans son rapport à la Chambre des pairs sur le chemin de fer du Nord, a également combattu l'opinion de M. Teisserenc.

« Les chemins à fortes pentes, dit-il, n'ont pas, ainsi qu'on l'a prétendu, une supériorité économique sur les chemins à faibles pentes; loin de là. Cette thèse, soutenue récemment, n'est pas vraie. Les exemples sur lesquels on s'est appuyé pour essayer de la faire prévaloir n'ont rien de démonstratif. On ne peut pas en effet comparer les chemins d'Angleterre à plans inclinés, établis et exploités avec la plus grande économie, parce que ce sont justement ceux où la circulation est la plus faible, avec ces grandes lignes dont la construction a exigé des capitaux énormes, qui ont un mouvement immense de voyageurs, perçoivent de hauts tarifs et sont administrées dans un esprit et dans des conditions absolument différents. Sur ces voies, on n'épargne ni dépenses de commodité ni même dépenses de luxe pour satisfaire le public. Souvent il arrive que, pour diminuer les chances d'un faible retard, on double le moteur

strictement nécessaire à la traction du convoi. De là des augmentations de frais ; de là aussi il résulte que les deux appareils locomoteurs, les deux mécanismes, ne sont nullement comparables. Ils portent le même nom, mais ils ne se ressemblent pas.

« La vérité est qu'une augmentation dans les pentes n'accroît pas autant qu'on se l'est imaginé dans le principe la dépense de traction. Ces prévisions théoriques ne sont pas dans cette matière plus que dans beaucoup d'autres réalisées par l'expérience. On peut, en roidissant les inclinaisons, obtenir une diminution sensible dans les frais de premier établissement sans nuire à un bon service. Il peut donc y avoir avantage à le faire : mais l'exploitation se trouve par suite grevée d'une charge additionnelle, certaine, inévitable. »

M. Couche, enfin, exprime son opinion sur l'admission des fortes pentes dans les termes suivants : « Loin de modifier les idées reçues sur l'influence des rampes en général, l'expérience n'a fait que confirmer les inconvénients qu'elles entraînent, même sous une faible inclinaison, dès que leur longueur exige l'établissement d'une vitesse uniforme. Très-courtes même, elles constituent une charge réelle pour l'exploitation quand elles coïncident avec des courbes prononcées, quand une station principale est placée à leur pied, etc. Dans tous les cas, enfin, elles affectent bien plus gravement le service des marchandises que celui des voyageurs. Les sacrifices faits à l'abaissement de la limite des rampes sont donc fondés dans des circonstances ordinaires, c'est-à-dire quand on peut, à ce prix, éviter des conditions spéciales pour la traction.

« Mais il en est tout autrement dans les cas extrêmes, où il faut, quoi qu'on fasse, accepter des inclinaisons exceptionnelles.

« Aujourd'hui les locomotives laissent à cet égard aux ingénieurs une grande latitude dont ils devront user largement.

« Les rampes très-inclinées, telles que celles du Sæmmering, dont l'inclinaison est de 0,025, ne doivent toutefois, dit M. Couche¹, être admises qu'à la dernière extrémité et quand il faut recourir à tous les moyens pour frayer un passage au chemin de fer. »

¹ *Annales des mines.*

Après avoir cité les ouvrages de MM. Teisserenc, Lechatelier, Daru et Couche, sur l'influence des pentes, nous devons appeler aussi l'attention de nos lecteurs sur une publication de M. Minard, publication qui a porté de vives lumières sur cette question dans un moment où elle était encore très-obscur pour un grand nombre d'ingénieurs.

Nous nous sommes longuement étendu sur la question de l'influence des pentes sur la dépense d'exploitation, parce qu'elle est grave, qu'elle a été fort controversée, et que d'ailleurs l'opinion d'un écrivain aussi habile que M. Teisserenc ne devait pas être rejetée sans une discussion approfondie.

Nous n'avons pas examiné jusqu'à quel point l'adoption du système Arnoux pourrait influencer sur le choix des tracés, attendu que nous nous réservons d'exprimer notre opinion à cet égard en traitant plus spécialement des nouveaux systèmes de locomotion.

S'il est essentiel de régler convenablement l'inclinaison des rampes sur un chemin de fer, leur mode de répartition n'est pas non plus sans importance.

Nous avons déjà établi qu'il fallait autant que possible concentrer les rampes sur un même point et dans le voisinage d'un dépôt de machines; nous ajouterons que *les pentes variées, même d'une assez faible inclinaison, sont peu favorables à l'emploi des machines locomotives*; car, si les pentes et les contre-pentes ne se succèdent pas de manière que les machines puissent remonter les rampes au moyen de la vitesse acquise sur les pentes descendantes qui les précèdent, on ne peut leur faire remorquer que la charge compatible avec leur adhérence et leur force sur les pentes les plus roides. Si, au contraire, les rampes sont assez courtes pour que l'ascension puisse avoir lieu sans un accroissement de force et sans ralentissement notable, les machines lancées avec toute leur puissance à la descente souffrent beaucoup de la vitesse excessive qu'elles acquièrent par moments. Cette dernière observation est également applicable au mode de tracé proposé par un ingénieur écossais et qui consisterait à diviser le profil en parties de niveau et en plans inclinés de petite longueur, en sorte que les machines pussent remonter les plans inclinés au moyen de la vitesse acquise

sur les paliers. En outre, si les machines ainsi lancées sur les paliers venaient à rencontrer un obstacle qui en diminuerait un instant la vitesse, on ne pourrait les ramener à l'extrémité du palier pour les lancer de nouveau.

Cette raison seule suffirait pour faire rejeter ce profil, lors même qu'on n'y serait pas conduit par d'autres considérations théoriques.

Si, toutefois, la raison d'économie, devant laquelle le principe technique des pentes uniformes doit aussi plier, oblige à préférer une pente variée, il faut diviser, autant que possible, les lignes en parties sur lesquelles l'effort varierait du simple au double, ou à peu près.

Lorsque, au lieu de machines, on emploie des chevaux pour le halage, les pentes variées, convenablement disposées, sont préférées aux pentes uniformes, en faisant même abstraction de toute considération financière. Le cheval supporte mieux un effort varié qu'un effort constant. Il n'est personne, ayant l'habitude de voyager à pied, qui n'ait reconnu que l'homme, ainsi que le cheval, se fatigue moins en parcourant une même distance sur un sol accidenté que sur un terrain parfaitement uni.

Une inclinaison très-avantageuse est celle pour laquelle l'effort du moteur est le même dans les deux sens, en égard à la différence du chargement à la descente et à la remonte.

Tout ce que nous avons dit de l'influence qu'exercent les fortes pentes sur la dépense d'exploitation, nous pourrions le répéter pour les courbes de petit rayon.

Sous le rapport de l'économie de premier établissement, les courbes de petit rayon sont avantageuses, puisqu'elles permettent de tourner les difficultés au lieu de les vaincre au moyen de grands travaux d'art et de terrassement; mais elles exercent sur les frais de traction la même influence que les fortes pentes, elles forcent à réduire la vitesse des trains.

Ainsi, sur le Great-Northern-railway, en Angleterre, dont le tracé est presque rectiligne, les trains express marchent à une vitesse de 75 à 76 kilomètres par heure; sur le chemin de Londres à Birmingham, où les courbes sont de grand rayon, à la vitesse de

71 à 72 kilomètres. Sur le chemin de Birmingham à Gloucester, où les courbes sont de petit rayon; la vitesse des trains les plus rapides, dans les parties où se trouvent ces courbes, ne dépasse pas 50 kilomètres, et sur celui de Newcastle à Carlisle, 45 à 48 kilomètres.

Sur nos grandes lignes françaises de l'Est, de Lyon et de Rouen, la vitesse de marche des trains express est de 60 à 65 kilomètres, et sur le chemin du Nord de 70 à 75 kilomètres. Sur le chemin d'Orléans, elle est plus faible, mais cela ne tient pas au tracé du chemin. Sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, où le rayon des courbes est généralement de 500 mètres, la vitesse maximum des trains en marche remorqués par des locomotives à la remonte entre Givors et Rive-de-Gier est de 42 kilomètres.

Sur les chemins allemands, dont le tracé est très-tourmenté, la plus grande vitesse des trains de voyageurs en marche est de 45 à 50 kilomètres.

Il est enfin un élément des frais d'exploitation sur lequel les courbes de petit rayon agissent d'une manière très-fâcheuse, ce sont les frais d'entretien du matériel et de la voie.

En effet, le frottement des rebords des roues contre les rails et celui qui résulte du glissement des roues sur ces rails donnent lieu à une usure rapide des surfaces frottantes, aussi bien que celui que produit l'emploi des freins à la descente sur les fortes pentes.

Le tracé des embranchements n'exige pas la perfection que réclame celui des lignes principales.

Longtemps, en France, l'administration des ponts et chaussées s'est montrée d'une sévérité outrée lorsqu'il s'agissait de l'approbation des tracés qui lui étaient soumis par les Compagnies; mais elle n'avait pas encore construit de chemins de fer elle-même; éclairée aujourd'hui par sa propre expérience, elle est devenue beaucoup moins exigeante, et s'est même occupée de l'étude d'un système de construction économique pour les embranchements.

Les embranchements sont une source de prospérité pour les grandes lignes; ce sont des rameaux qui fécondent le tronc. *Une des conditions auxquelles doit satisfaire le tracé de tout chemin des-*

tiné à unir de grands centres de population est donc de se prêter aisément à l'établissement de lignes secondaires.

Les anciennes Chambres, appelées à se prononcer sur deux tracés proposés pour un chemin de fer entre Belfort et Besançon, l'un par la vallée du Doubs, l'autre par celle de l'Ognon, avaient opté pour ce dernier, en grande partie parce qu'il offrait pour la création d'embranchements plus de facilité que le premier.

Les voyageurs ne recherchent pas seulement, dans les chemins de fer, la rapidité et l'économie des transports, ils veulent aussi voyager sûrement. Il est par conséquent du devoir du gouvernement de prescrire aux Compagnies, dans le tracé des chemins de fer, certaines règles qui en rendent le parcours le moins dangereux possible; il est aussi de l'intérêt des Compagnies de ne jamais oublier que la sûreté est, aussi bien que l'économie des transports, une des principales conditions d'un bon tracé.

L'administration s'est montrée souvent trop facile pour admettre les tranchées ou les souterrains courbes, surtout aux abords des stations. Rien n'est plus dangereux. Plusieurs accidents, celui de Bonnières, par exemple, sur le chemin de Rouen, le prouvent assez. Il importe que les convois puissent être aperçus d'une certaine distance; et cette condition n'est remplie que sur des parties rectilignes, ou lorsque les courbes sont en remblai. Il n'est pas toujours possible d'éviter une tranchée ou un souterrain courbe, mais encore faut-il les multiplier le moins possible, et, quand ils deviennent absolument nécessaires, en éloigner les stations et les faire précéder ou suivre par de longs alignements.

Les courbes de trop petit rayon, non-seulement augmentent les frais d'exploitation, mais encore deviennent une cause d'accidents.

On s'effraye également des fortes pentes, parce qu'on suppose que sur ces pentes il est impossible de contenir les convois. Ces pentes ne sont certainement pas sans danger, mais on en calculait mal les effets lorsqu'on proscrivait les pentes dépassant 5 millièmes, comme exposant les voyageurs à la descente à de nombreux accidents.

Il est reconnu aujourd'hui que, sur une pente de 1 centième en

ligne droite, la résistance de l'air devient telle, à la vitesse de 60 à 70 kilomètres par heure, que les convois abandonnés à eux-mêmes ne peuvent la dépasser, et que, sur les plus fortes pentes en usage, les freins et les machines locomotives, agissant elles-mêmes comme es freins les plus puissants lorsqu'on renverse la vapeur, peuvent toujours arrêter les convois.

Ce ne serait donc que si, par hasard, un ou plusieurs wagons, en stationnement, se trouvaient poussés par une cause quelconque, telle que le vent, sur de fortes pentes, ou enfin si une partie du convoi s'en séparait par suite de la rupture des chaînes d'attelage, qu'il pourrait résulter des accidents provenant de la trop grande inclinaison de la voie. Ce cas se présente malheureusement trop souvent, et il est miraculeux que jusqu'à ce jour on n'ait eu à déplorer qu'un seul accident grave provenant d'un événement de ce genre (accident arrivé tout récemment sur un chemin de fer anglais), surtout sur les chemins à fortes pentes, car la chance d'accident croît avec l'inclinaison du chemin. Un jour, sur le chemin de Versailles (rive gauche), un train tout entier, chargé de voyageurs, est chassé par le vent sur une pente de 1 centième à la sortie de la gare de Versailles et descend vers Paris avec une vitesse toujours croissante sur la pente de 4 millièmes, qui fait suite à celle de 1 centième. Un habile mécanicien, M. Caillet, aujourd'hui chef de la traction au chemin de fer Grand-Central, court après le train avec une machine locomotive, parvient à le rattraper, le suit doucement et s'accroche enfin au dernier wagon. Une autre fois, sur le chemin de Lausanne à Morges, un train de ballast, descend de Lausanne à Morges, sur la pente de 1 centième, et vient briser, heureusement sans accidents pour les hommes, tout ce qu'il rencontre dans la gare de Morges; sur le Sæmmering, un train de matériaux destinés aux réparations roule en arrière, acquiert bientôt une vitesse terrible, et eût certainement tué quarante ouvriers se trouvant dans le souterrain, si, l'entendant de loin venir, ils n'eussent jeté sur la voie tout ce qu'ils avaient sous la main et ne l'eussent ainsi forcé à quitter les rails; vers Prague, un train de vingt-cinq wagons de houille se détache, descend et rencontre une machine qu'il brise, et dont il tue le mécanicien ainsi que les deux

chauffeurs; sur le chemin de Lyon, enfin, deux wagons chargés de pierres descendent de la station de Verrey au-devant d'un train de voyageurs, sur la pente de 1 centième, et viennent se briser eux-mêmes contre la machine, qui, fort heureusement, résiste au choc.

Une autre cause d'accident très-redoutable à laquelle on ne parait pas attacher toute l'importance qu'elle mérite, c'est la multiplicité des passages à niveau.

Passages à niveau. — *Les passages à niveau, quand, sur des alignements ou sur des courbes en remblais, on peut les apercevoir de loin, ne sont pas dangereux; mais il en est tout autrement s'ils se trouvent à l'extrémité de tranchées ou de souterrains courbes.*

Ainsi, sur le chemin de Versailles (rive gauche), l'administration, pressée par les sollicitations de la Compagnie, qui avait épuisé ses capitaux, a toléré plusieurs passages à niveau qui, placés dans ces dernières conditions, ont failli occasionner des accidents.

Les réclamations des Compagnies, lorsqu'il s'agit de passages à niveau, sont d'autant moins fondées, qu'en général l'intérêt du capital qu'exige un pont remplaçant un passage de niveau ne dépasse pas le traitement d'un garde-barrière. L'administration ne devrait donc y céder que lorsque la nature du terrain ne permet l'établissement d'un pont qu'au moyen de très-grandes dépenses.

Il faut aussi éviter de placer des passages à niveau à l'extrémité des gares. Nous devons reconnaître toutefois que dans ce cas particulier la dépense à faire pour établir un pont ou pour déplacer la gare est souvent tellement grande, que mieux vaut encore subir les inconvénients du passage à niveau, compensés d'ailleurs par certains avantages.

Sur le chemin de Strasbourg, à l'entrée de la gare de Vitry, on en a établi un qui présente de très-graves inconvénients. Avant la construction récente d'une grue hydraulique spéciale pour les trains de marchandises, toutes les manœuvres se faisaient sur ce passage à niveau, et les barrières restaient souvent fermées pendant un si long espace de temps, qu'il a été constaté, dans une enquête faite à ce sujet, qu'au passage de ces trains, qui se suivent de très-près, la circulation se trouvait interdite pendant près de deux heures. Aujourd'hui la manœuvre est un peu moins gênante pour la circulation

sur la route, mais elle n'en donne pas moins lieu à des temps d'arrêt très-fâcheux.

On eût évité ce passage à niveau en construisant un viaduc, ou, préférablement, en reculant la gare de 160 mètres environ. Sur le même chemin, on trouve des passages à niveau placés également à l'entrée des gares, à Lagny et à Bar-le-Duc, et le service de l'exploitation s'est plaint souvent des embarras qu'ils lui occasionnaient.

Malgré les inconvénients incontestables qui proviennent de la juxtaposition de passages à niveau aux stations, M. Guillon a cru devoir les multiplier sur les lignes de Creil à Saint-Quentin et de Saint-Quentin à Erquelimes. — A l'appui de son tracé, il a développé la thèse suivante : « Les passages à niveau présentent moins d'inconvénients près des stations que partout ailleurs, parce que les trains les franchissent toujours à faible vitesse, qu'ils sont beaucoup mieux surveillés que sur tous les autres points, et qu'ils sont protégés par des appareils qui n'existent pas sur la voie courante. Ils permettent toujours d'arriver aux stations d'une manière plus directe et plus commode que des passages au-dessus ou au-dessous. — Enfin il eût fallu, sur les deux lignes précitées, pour éviter de les accoler aux stations, reculer ces stations, non pas de 100 ou 150 mètres, comme on le prétendait, mais de 500 ou 600 mètres, ce qui eût été beaucoup plus grave. »

On voit par cet exposé que la question des passages à niveau, juxtaposés aux stations, n'admet pas, comme un grand nombre de questions relatives au tracé, une solution générale. — Les circonstances locales exercent une grande influence sur cette solution.

Gares de rebroussement. — Les points de rebroussement dans les gares, sans présenter les mêmes dangers que les passages à niveau mal placés, peuvent aussi, en compliquant le service, devenir l'occasion d'accidents plus ou moins graves. Ils ont d'ailleurs pour conséquence une perte de temps, et, par suite, une perte d'argent. Ils changent la position des wagons dans les convois, de telle façon que les voyageurs ou les marchandises qui étaient placés en tête se trouvent placés en queue. Cette espèce de renversement des trains est désagréable pour les voyageurs et dangereux pour les marchandises. On a vu, sur le chemin du Nord, un wagon chargé de chif-

fons qui, passant de la queue à la tête du convoi, a été incendié par la machine. Les rebroussements, enfin, en allongeant le parcours, augmentent le péage.

Il ne faut donc recourir, dans les tracés, aux rebroussements que dans quelques cas particuliers où ils deviennent indispensables pour se rapprocher du centre des villes, et encore est-il nécessaire, dans ce cas, d'établir des courbes de raccordements pour éviter aux convois directs de pénétrer dans la station où ils seraient obligés de rebrousser.

Sur les chemins de fer français, il existe cependant plusieurs gares à points de rebroussement : celles d'Orléans, de Tours, de Douai, de Lille, de Valenciennes et de Metz.

« Dans le tracé des chemins de fer allemands, dit M. Lechatelier, on ne s'est pas assez préoccupé des inconvénients que présentent les stations récurrentes. Cela tient en partie à ce qu'en Allemagne la plupart des lignes ont été projetées ou exécutées isolément et sans vues d'ensemble. Il est possible même que, dans quelques endroits, on se soit proposé, dans un intérêt mesquin de localité, de gêner le passage des voyageurs pour les retenir et prélever sur eux des impôts de séjour et de consommation.

« On doit, en France, où l'exécution des chemins de fer est favorisée par un élément qui manque partout ailleurs, la centralisation, éviter tout ce qui peut faire obstacle à la circulation rapide d'une extrémité à l'autre du territoire. On tend maintenant à abrégier la durée du trajet sur les chemins de fer ; c'est en diminuant la durée des arrêts qu'on y parviendra sans inconvénient et sans courir les risques d'une vitesse exagérée. »

Souterrains. — *Le passage des souterrains n'est pas, comme on l'a prétendu, nuisible à la santé des voyageurs ; il convient cependant de réduire autant que possible le nombre et la longueur des tunnels, non-seulement par raison d'économie, mais encore pour l'agrément des voyageurs et dans le but de diminuer les chances d'accidents. La configuration du terrain force assez souvent d'en percer de très-longs. Il est important qu'ils soient autant que possible rectilignes.*

Les fortes pentes sont plus nuisibles dans les souterrains que

dans toute autre partie du chemin. L'humidité empêchant la boue qui imprègne les rails de sécher, l'ascension de fortes rampes y devient très-pénible. Il faut donc s'appliquer à les éviter plus encore sous les tunnels qu'à ciel ouvert.

Au chemin de Turin à Gênes, on a reconnu que les trains qui remontent assez facilement la rampe de 5 1/2 centièmes à ciel ouvert sont fréquemment obligés de s'arrêter ou ne peuvent avancer que péniblement sur la rampe de 28^e,68 en souterrain.

Compensation des déblais. — *Dans le tracé des routes de terre on cherche ordinairement à compenser les déblais par les remblais. Plusieurs ingénieurs ont cru devoir, à tort, étendre cette règle au tracé des chemins de fer.*

Sans doute, lorsque le volume des déblais dépasse celui des remblais, on est forcé de déposer l'excédant des terres extraites des tranchées, et, si ce volume lui est inférieur, d'emprunter les terres qui manquent pour compléter les remblais. De là des extractions ou des mouvements de terre souvent coûteux dont on se fût dispensé en compensant les déblais par les remblais. Mais, si, pour éviter ces terrassements et ces manœuvres, l'ingénieur s'est attaché à établir cette compensation, il peut en résulter la nécessité d'ouvrir de très-grandes tranchées dont l'exécution est toujours longue et difficile, s'il faut en porter toutes les terres sur l'axe du chemin, ou de creuser des tranchées dans des terrains glaiseux qui ne fournissent que de très-mauvais produits pour la confection des remblais adjacents. Dans le premier cas, l'économie n'est qu'apparente, car elle est plus que compensée par les pertes d'intérêts qui sont la conséquence d'un accroissement de durée des travaux, et qui, pour un chemin de fer, peuvent être énormes. Dans le second, la dépense peut dépasser de beaucoup les prévisions. En fût-il autrement d'ailleurs, le danger des éboulements auxquels on est exposé de la part des talus glaiseux de la tranchée ou des remblais en mauvaise terre est bien plus redoutable pour un chemin de fer que pour une route.

Il faut, par conséquent, détourner souvent le tracé d'un chemin de fer pour éviter certains terrains difficiles, ou recourir aux dépôts et aux emprunts.

On s'est exposé souvent à de graves mécomptes pour s'être écarté de cette règle dans la détermination des tracés.

« Dans la construction du chemin de fer de Lyon, dit M. Belgrand¹, on a tenu le plus grand compte de la nature du sol; ainsi entre Saint-Remy et Blaisy, sur une longueur d'environ 50 kilomètres, le tracé est établi dans les argiles supraliasiques. Les vallées de la Brenne et de la rivière d'Oze, qu'il suit entre ces deux points, sont larges et régulières, et dans les idées anciennes on n'aurait pas manqué de chercher de beaux alignements en coupant les contre-forts par des tranchées qui n'auraient eu en définitive que de médiocres profondeurs. Il est certain qu'en coupant ainsi ces terrains argileux ramollis par les sources de l'oolithe supérieure on aurait eu de tous côtés des glissements qui auraient bientôt rendu indispensable une modification complète du tracé. M. l'ingénieur Chabar, qui a fait l'avant-projet du chemin, évitait toute tranchée de 5 mètres. — On ne s'est écarté de ces sages principes que sur deux points, et les glissements qui se sont manifestés presque immédiatement ont forcé à changer le tracé. »

Influence du vent et des neiges. — On a été conduit, en étudiant le chemin de Trieste à Venise, à reconnaître qu'un certain tracé, qui d'abord avait obtenu la préférence, laissait les trains exposés, pendant la plus grande partie de leur trajet, à des vents dont la violence et la continuité seraient un obstacle très-grave pour le service, et on a renoncé à ce tracé.

Il importe donc, en étudiant le tracé des chemins de fer, de se rendre compte de l'action que les vents pourraient avoir sur la marche des convois.

Il faut aussi, dans les pays de montagnes surtout, diriger les tracés de manière à se préserver, autant que possible, des amas de neige.

Toutefois la neige est moins redoutable qu'on ne l'a supposé.

On a exprimé la crainte que, dans les pays de montagnes et même dans les pays de plaine où le froid est rigoureux, elle ne devînt un obstacle insurmontable à l'exploitation des chemins de fer en hiver. Cette crainte n'est pas fondée.

¹ Hydrologie du bassin de la Seine, *Annales des ponts et chaussées*, 1852.

Sur les chemins de Bavière et du Wurtemberg, qui se trouvent dans des conditions bien plus difficiles à l'égard des neiges que la plupart des chemins français, puisqu'ils ont à franchir des chaînes de montagnes assez élevées, on a employé, pour se garantir, sinon complètement, au moins en grande partie, de l'accumulation des neiges mouvantes, différents moyens que M. Muntz, ingénieur civil, a décrits dans le journal l'*Ingénieur*, et que nous ferons connaître plus loin.

Nous avons chargé M. Goschler, ancien élève de l'École centrale, ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est, envoyé par la Compagnie en Suisse et en Allemagne, de recueillir également des renseignements à cet égard sur les lignes qui traversent des chaînes élevées, et nous en avons obtenu de M. Sauvage, ingénieur en chef de la traction de la même Compagnie, sur le chemin de Saint-Petersbourg à Moscou. De ces renseignements il résulte que différentes circonstances, telles que la direction des vents, la latitude, la présence ou l'absence de grands arbres dans le voisinage de la ligne, exercent une certaine influence sur la quantité de neige qui peut s'accumuler sur la voie, mais que, dans tous les cas, on emploie des moyens tels, que les interruptions de service, même dans les localités les moins favorisées, dépassent rarement deux ou trois jours.

En 1852, 1855 et 1854, d'après les renseignements fournis par M. Sauvage, le chemin de fer de Saint-Petersbourg à Moscou n'a pas été intercepté un seul jour par suite des neiges. Il était alors procédé à leur enlèvement en régie par les soins de l'administration. Depuis, ce travail a été compris dans l'entretien de la voie et donné comme le reste à l'entreprise. On a eu une interruption de deux jours en 1855 et d'un jour en 1856.

Les renseignements très-intéressants et très-détaillés qui nous ont été fournis par M. Goschler, ayant trait à l'exploitation plutôt qu'à la construction, seront reproduits aux documents. Ceux qu'a publiés M. Muntz, concernant la construction, trouveront leur place dans le texte.

Conditions stratégiques. — Le tracé d'un chemin de fer répondrait-il aux besoins du commerce et offrirait-il aux voyageurs toute

la sûreté possible, cela ne suffirait pas encore : il faut aussi qu'il soit habilement combiné pour la défense du pays.

On divise en général les voies de fer stratégiques en voies parallèles à la frontière et voies perpendiculaires.

Il est essentiel que les voies parallèles, surtout si elles sont voisines de la frontière, soient protégées par un obstacle naturel quelconque, tel qu'un grand fleuve ou un rempart de hautes montagnes.

Les voies stratégiques, destinées à porter rapidement les troupes à de grandes distances, doivent être le plus directes possible. Elles n'ont, au point de vue militaire, que les places fortes pour stations. Elles doivent être tracées de manière à ne fournir à l'ennemi, aux abords de ces places, aucun abri soit dans les tranchées, soit dans les remblais, contre le feu des batteries. Les lignes qui peuvent être *enfilées* par le feu de la défense sont considérées comme bien préférables à celles qui ne peuvent être battues que transversalement.

On doit aussi éviter, aux abords des places fortes, les tranchées qui peuvent donner écoulement aux eaux de l'inondation, et tout ouvrage d'art difficile à détruire et qui pourrait livrer passage aux assaillants. Quelquefois on loge le chemin de fer dans les fossés de la place (Belfort).

Après ces considérations générales sur le tracé des chemins de fer, passons aux opérations qui en constituent l'étude proprement dite.

Étude proprement dite. — Cette étude n'est plus, en France du moins, exclusivement abandonnée aux ingénieurs. Le gouvernement, représenté par le conseil d'État et par une commission consultative composée d'hommes distingués, choisis dans toutes les branches de la haute administration, en prend aussi sa part. Il étudie le tracé au point de vue de la politique et de la défense du pays; les ingénieurs ou les Compagnies l'étudient au point de vue de la spéculation. La tâche des Compagnies se trouve donc ainsi simplifiée, car le gouvernement les renferme dans un cercle d'où il ne leur est pas permis de sortir. Il limite le nombre des directions sur lesquelles les Compagnies peuvent arrêter leur choix. Quelque-

fois même il prescrit celle qu'il considère comme étant la seule à laquelle il puisse donner son approbation, ou il la fait étudier par ses propres ingénieurs. Les projets de tracé fournis par les Compagnies ne peuvent d'ailleurs être mis à exécution qu'après avoir été soumis successivement à l'examen du conseil des ponts et chaussées, du comité du génie et de la commission consultative, qui les rectifient, s'il y a lieu, dans l'intérêt des localités et de la défense du pays.

Les Compagnies, ainsi débarrassées du soin de sauvegarder les intérêts généraux, n'ont qu'à rechercher le tracé le plus avantageux financièrement parlant, en sorte que la question peut se poser pour leurs ingénieurs à peu près en ces termes : Quel est le tracé qui, eu égard à la dépense et aux revenus, procurera, dans un certain temps, les plus grands bénéfices ?

C'est en nous plaçant à ce point de vue que nous allons essayer d'y répondre.

Calcul du bénéfice. — Nous appelons bénéfice la différence entre le revenu et les frais d'exploitation, en comprenant dans ces frais d'exploitation non-seulement les dépenses de traction immédiate, d'entretien du chemin et les frais généraux, mais encore l'intérêt du capital engagé dans la construction. Les revenus se composent des taxes prélevées sur les voyageurs et sur les marchandises transportés par le chemin, taxes qui sont ordinairement perçues à raison de tant par voyageur ou par tonne de marchandises transportés à 1 kilomètre. Le meilleur tracé sera donc, *pour une même circulation et une même longueur de parcours*, celui pour lequel les frais d'exploitation par voyageur ou par tonne de marchandises et par kilomètre, y compris l'intérêt des capitaux et dépenses d'entretien, seront un minimum.

Mais, dès qu'on aborde le calcul de ces frais, on ne peut manquer de faire une observation importante, c'est que la dépense d'exploitation calculée pour une certaine unité, tonne de marchandises ou voyageur, se divise en deux parties distinctes : la première, qui, diminuant lorsque la quantité totale de voyageurs ou de marchandises augmente, comprend les intérêts, l'amortissement du capital, et les frais d'administration, entretien, etc., etc.; la seconde, qui, tout à

fait indépendante de cette quantité, se compose des frais de traction immédiate. Or, généralement, lorsque, pour améliorer le chemin, on augmente le capital engagé dans la construction, les frais de traction diminuent et les frais d'entretien peuvent, suivant les circonstances, diminuer, augmenter ou rester stationnaires. Si donc, dans ce cas, la diminution opérée par l'amélioration du chemin sur les frais de traction et sur les frais d'entretien, pour chaque tonne de marchandises ou pour chaque voyageur, excède la portion d'intérêt et d'amortissement du nouveau capital dont cette amélioration grèvera le transport de la tonne ou du voyageur, il est clair que la somme des frais d'exploitation sera réduite, et que, par conséquent, l'amélioration sera motivée.

Mais la diminution sur les frais de traction produite par des améliorations dans le tracé sera indépendante de la circulation sur la route; les intérêts au contraire et l'amortissement du nouveau capital, par unité transportée, deviendront d'autant plus faibles que la circulation sera plus active. Nous arrivons ainsi à poser ce principe, que nous avons déjà indiqué dès le commencement de ce chapitre :

Le tracé le plus parfait au point de vue technique n'est pas toujours le plus convenable. Il n'est généralement avantageux d'améliorer un chemin de fer et même une voie de communication quelconque, ou, en d'autres termes, d'adopter, pour ce chemin ou cette voie de communication, un mode de construction et un tracé plus parfaits, en augmentant le capital engagé, que lorsque la circulation est plus active.

Ce n'est là qu'une conséquence de ce grand axiome industriel que les manufactures assurées d'un grand débit peuvent et doivent seules employer les machines les mieux construites et les plus coûteuses. Quelque évident qu'il soit, on l'a si souvent oublié dans l'étude des chemins de fer, qu'il nous a paru nécessaire de ne pas traiter la question des tracés sans commencer par le rappeler.

Revenons actuellement à la comparaison des tracés possibles pour une même ligne.

Comparaison des tracés au point de vue de la spéculation.

— Comparer différents tracés, avons-nous dit, ce n'est ordinaire-

ment pour l'ingénieur d'une Compagnie qu'en rapprocher les revenus et les dépenses. Rien de plus facile en apparence que ce travail; suivons cependant l'ingénieur dans ses opérations, et nous verrons combien, dans certains cas, elles exigent d'étude, de connaissances spéciales et de talent.

Nous avons montré précédemment que le choix d'un tracé dépendait autant de la circulation présumée que de la configuration du terrain. La première question dont l'ingénieur ait à s'occuper est donc celle du *tonnage* probable en voyageurs et en marchandises, ainsi que la nature de ce tonnage. On apprécie facilement les nombreuses difficultés qui se présentent pour réunir les éléments d'une réponse.

Ce travail achevé, l'ingénieur étudiera le terrain, d'abord au moyen de la carte seulement, marquant entre les deux points extrêmes ceux par lesquels il sera important de passer, puis il tracera les lignes qui, touchant à ces différents points, paraîtront le plus convenables pour le tracé d'une voie de communication.

Lorsque la configuration du sol permet de poser les chemins à peu près en ligne droite sans travaux extraordinaires, le choix est facile; mais, dans les pays accidentés, il se présente un grand nombre de lignes qui paraissent au premier abord satisfaire aux conditions exigées pour le meilleur tracé. Chacune a ses avantages particuliers et ses inconvénients, qu'on ne peut apprécier avec exactitude sans avoir obtenu par des opérations géodésiques un relief du terrain. Ces opérations sont toujours coûteuses, et l'on doit éviter de les multiplier; il faut donc que l'ingénieur, doué d'un coup d'œil sûr et rapide, choisisse à la seule inspection du terrain celles qui doivent faire l'objet d'études spéciales, puis qu'il détermine par des nivellements la hauteur des différents points du sol, suivant chacune de ces directions et à quelques dizaines de mètres à droite et à gauche.

Il lui reste ensuite à *profiler* ses tracés, c'est-à-dire à en déterminer les pentes. C'est alors surtout qu'il est obligé de déployer une grande sagacité, car on conçoit qu'entre deux points donnés, sans même s'écarter d'une certaine direction, il existe un grand nombre de profils différents possibles. Si, par exemple, ces deux points

sont séparés par une montagne, on peut, en suivant toujours la même ligne, gravir la montagne d'un côté jusqu'au sommet pour ensuite descendre de l'autre côté, ou bien ne la gravir que jusqu'à une certaine hauteur et la traverser par un souterrain, ou enfin ouvrir un souterrain dès qu'on en atteindra le pied. On peut aussi, dans une vallée, suivre toutes les sinuosités auxquelles donne lieu la projection des contre-forts ou coteaux qui s'avancent de l'un ou de l'autre côté, ou abrégier le chemin en coupant ces contre-forts.

L'ingénieur a donc à choisir en même temps entre plusieurs directions et plusieurs profils, et il n'a, pour calculer les avantages respectifs de ces différents tracés, que des données très-variables ou très-incertaines : le chiffre du tonnage, sur lequel on se trompe presque toujours, les frais de construction, dont un des éléments, l'indemnité aux propriétaires, est surtout bien difficile à apprécier, et enfin les frais d'exploitation, qu'on est loin encore de pouvoir établir avec une parfaite exactitude.

Il ne faut pas s'étonner par conséquent des défauts qu'on a signalés dans le tracé de presque tous les chemins de fer exécutés jusqu'à ce jour.

« Les voies de cette espèce aujourd'hui en activité, disait M. Paulin Talabot, directeur du chemin de Lyon à la Méditerranée, dans un Mémoire inédit écrit il y a une vingtaine d'années, ont été exécutées à peu près au hasard et sans que l'ingénieur ait pu se rendre compte des conditions du problème qu'il avait à résoudre.

« Ainsi le chemin de Darlington à Stockton, desservi aujourd'hui par des machines, devait l'être par des chevaux dans la plus grande partie de sa longueur. On n'a déterminé le système des moteurs qu'on emploierait sur le chemin de Liverpool qu'après que ce chemin a été exécuté, renversant ainsi l'ordre logique, qui voulait que le tracé fût fait pour le moteur, et non le moteur pour le tracé. Ce n'est pas seulement sur le choix du moteur que l'on s'est trompé dans l'étude du chemin de Liverpool à Manchester ; les erreurs commises sur le chiffre et la nature du tonnage n'ont pas été moins graves : cette ligne avait été tracée dans la prévision d'un transport considérable de marchandises à la vitesse de 16 à 20 kilomètres par heure ; aujourd'hui, au contraire, elle sert au transport

d'un grand nombre de voyageurs à grande vitesse, et d'une quantité médiocre de marchandises.

« Les machines locomotives ne ressemblent en aucune manière à celles que l'on employait avant la construction de ces deux railways. Le poids, la force, la vitesse, le mode de construction de ces machines, tout cela a changé, tout cela varie encore tous les jours. »

Ce que M. Talabot disait du tracé des chemins de Liverpool à Manchester, et de Darlington à Stockton, construits il y a trente ou trente-cinq ans, on peut le dire également de celui de chemins beaucoup plus récemment établis. Aujourd'hui plus que jamais on altère à chaque instant et le mode de construction et la puissance des machines. Le problème du tracé d'un chemin de fer, toutes les fois qu'on se sert de machines, est, comme l'a dit avec beaucoup de justesse M. Minard, un véritable problème de mécanique. Le chemin et son système de chariots et de locomotives ont entre eux une telle corrélation, qu'on ne saurait les considérer isolément; car la moindre imperfection dans l'une des parties, le moindre défaut d'harmonie entre ces différents objets, ont une influence destructive sur l'ensemble. Ils forment par leur réunion un seul et même appareil, une immense machine.

Comment donc poser des principes absolus pour le tracé des chemins de fer, même en se bornant à étudier la question au point de vue technique et financier? comment surtout y appliquer le calcul mathématique, lorsqu'on manque de données pour estimer exactement la résistance dans certains cas¹, et que chaque jour amène d'importants changements dans le matériel ou même dans l'art de les construire? On est réduit, nous regrettons de le dire, à se contenter de quelques règles empiriques déduites de l'étude des chemins de fer déjà établis, règles dont la plus grande partie a déjà été exposée précédemment en traitant des considérations générales qui doivent présider au choix des tracés, et qui se trouveront complétées par l'indication des limites de courbure ou de pentes

¹ On manque complètement de bases pour apprécier la résistance dans les courbes de différents rayons, à différentes vitesses, avec un matériel donné.

adoptées dans certains cas donnés pour le tracé des chemins de fer.

Limites de courbure. — Les courbes sur les chemins de fer à *grandes vitesses* les mieux exécutés ont en général de 800 à 1,000 mètres de rayon au moins (chemins de Liverpool à Manchester, Liverpool à Birmingham, Londres à Birmingham, Londres à Bristol, Paris à Rouen, Paris à Lyon, Lyon à la Méditerranée, Nord, Paris à Strasbourg). Sur quelques chemins de fer d'Autriche, on n'a pas craint de réduire le rayon des courbes à 180 mètres, mais on ne marche sur ces chemins qu'à de petites vitesses (50 kilomètres à l'heure), avec des machines à 6 ou 8 roues à essieux mobiles du système américain. Sur les chemins américains, construits, à la vérité, il y a quelques années, on est descendu même au-dessous de cette limite.

Aujourd'hui, selon M. Couche, les Allemands renoncent assez généralement à l'emploi du matériel américain; ils cherchent à atteindre, au prix même de sacrifices assez grands, un rayon minimum de 500 à 600 mètres. C'est dans les stations seulement que les ingénieurs admettent sans scrupule des rayons qui nous paraissent d'une petitesse excessive, et dont l'influence sur le matériel est d'autant plus destructive, que les manœuvres se font, en Allemagne, presque exclusivement par les changements de voie.

En France, néanmoins, le nouveau cahier des charges admet une courbure minima de 350 mètres lorsque l'ancien n'admettait que 600 mètres.

Un rayon de 200 à 300 mètres suffit lorsqu'on emploie des chevaux courant au trot, ou qu'on se sert de machines traînant de fortes charges à de très-petites vitesses (chemin de Roanne, chemins des houillères de Newcastle et du pays de Galles).

Enfin, avec des chevaux allant au pas, on pourra adopter un rayon aussi petit qu'on le voudra, puisqu'alors rien n'empêchera d'employer les roues mobiles sur l'essieu, le système Laignel ou tout autre diminuant la résistance dans le circuit.

« Les courbes d'un très-faible rayon ne doivent plus d'ailleurs être considérées comme des obstacles insurmontables, dit M. Boulanger, même pour les grosses machines à marchandises à six roues

couplées, telles que celles du chemin de Paris à Strasbourg. On sait en effet que le service du matériel et de la traction de cette Compagnie, placé sous la direction de M. Sauvage, a exploité, pendant quatre mois et sans aucun accident, l'embranchement de Metz à Forbach, sur la voie exécutée provisoirement autour de la montagne du Steinberg, avec une rampe de 0^m,006 et des courbes de 150 mètres de rayon. On avait eu le soin d'augmenter quelque peu l'écartement des rails, de manière à diminuer les frottements. On usa quelques bandages, mais le service ne fut pas interrompu. »

Le fait articulé par M. Boulanger est vrai. Mais nous ajouterons, pour qu'on n'en tire pas des conséquences trop absolues, qu'en passant dans les courbes de 150 mètres avec une machine à six roues on a fait un véritable tour de force, afin de ne pas interrompre le service, que les machines ne marchaient qu'au pas, qu'elles éprouvaient et qu'elles faisaient éprouver à la voie une fatigue excessive.

Dans le voisinage des villes, ou aux points d'intersection avec les routes, lorsqu'il faut diminuer la vitesse, les courbes peuvent avoir de moins grands rayons.

Ainsi le chemin de Liverpool à Manchester entrait anciennement à Manchester avec une courbe de 200 mètres, et il se soudait au chemin de Newton par une courbe de 560 mètres.

Sur le chemin de Vincennes, on arrive à la station de Paris par une courbe dont le rayon n'est que de 225 mètres.

Dans les gares belges, on rencontre souvent des courbes de 200 mètres. Les anciennes machines Stephenson à six roues, très-communes en Belgique, y passent assez facilement ; par exception, cependant, on descend quelquefois à 150 mètres avec les nouvelles machines dans lesquelles un des essieux est placé à l'arrière de la boîte à feu ; il convient en général de donner à ces courbes de 250 à 500 mètres de rayon.

On évite avec un soin particulier les courbes de petit rayon sur les fortes rampes, où les chariots descendants marchent souvent animés d'une grande vitesse, et où les chariots montants éprouvent un surcroît de résistance. Sur le chemin de Vienne à Trieste, toutefois, on s'est trouvé conduit par la configuration du terrain à

réduire le rayon des courbes à 180 mètres, même sur des rampes très-fortes au passage des montagnes; sur celui de Heilbronn à Friedrichshafen, le rayon des courbes n'est que de 227 mètres, les pentes étant de 22 millimètres. Les nouvelles machines très-puissantes de M. Beugnot sont construites pour passer dans des courbes de 100 mètres de rayon.

Lorsque deux courbes tournées en sens contraire viennent à la suite l'une de l'autre, il convient de les séparer par un alignement qui ait la longueur d'un convoi au moins: de cette manière le convoi ne peut pas se trouver en partie dans une des courbes et en partie dans l'autre. Les changements de voie courbes en sens inverse sont séparés par des alignements d'une ou deux longueurs de rails.

Limites de pente. — Sur toutes les grandes lignes récemment construites en France, on s'est attaché à réduire les pentes à 8 ou 10 millimètres, comme au chemin de Strasbourg, et encore n'a-t-on adopté des pentes aussi fortes qu'au passage des portions les plus accidentées sur une petite partie du parcours, tandis que partout ailleurs on s'est attaché à ne pas dépasser la limite de 5 à 6 millièmes. Sur le chemin de Lyon, la pente de 8 millim. s'étend sur un parcours de 56 kilomètres; au chemin de Strasbourg, celle de 8 millimètres sur 20 kilomètres; sur celui d'Orléans, les rampes d'Étampes, inclinées également de 8 millimètres, ont 6,500 mètres de longueur. Au chemin de Londres à Bristol, on trouve une rampe d'environ 1 centimètre, de 5,000 mètres de longueur, et, au chemin de Liverpool à Manchester, des rampes de 11 à 12 millièmes sur un parcours de 2,400 mètres; enfin, sur les chemins de Londres à Brighton et de Londres à Douvres faisant partie de la grande ligne de Londres à Paris, les locomotives remontent une pente de 1 centième sur 5,000 mètres de longueur.

Sur les chemins de Versailles, construits à une époque où l'administration des ponts et chaussées attachait encore une importance extrême aux faibles pentes, il n'a pas été permis de dépasser 5 millièmes, si ce n'est sur une faible partie du parcours du chemin de la rive gauche à l'entrée de Versailles. Il est incontestable cependant que sur cette ligne, où les machines marchent rarement avec

une charge complète, on aurait pu, sans inconvénient, tolérer des pentes de 8 à 10 millimètres, comme sur le chemin de Londres à Croydon, ce qui eût considérablement diminué la distance à parcourir et les frais de construction du chemin.

La limite de pente de 10 à 12 millimètres, adoptée sur les chemins français et anglais, quand on ne traverse pas de véritables montagnes, est aussi celle que l'on a cherché à ne pas dépasser en Allemagne, et même aux États-Unis.

Dans les régions montagneuses, là où il faudrait exécuter des travaux gigantesques pour descendre à des inclinaisons de 10 à 12 millimètres seulement, on admet aujourd'hui des pentes qui s'élèvent jusqu'à 55 millièmes et sur lesquelles pourtant on continue à remorquer les convois avec des machines locomotives (chemin de Turin à Gènes). Aux États-Unis on a même admis une pente de 5 centimètres et demi, mais seulement sur un chemin *provisoire*. (Voir la note aux Documents).

Ce n'est qu'en gravissant des pentes de 20 à 55 millièmes qu'on a pu traverser les Alpes noriques et juliennes entre Vienne et Trieste, les Alpes rudes entre Heilbronn et Friedrichshafen, le Fichtelgebirge entre Neuemarkt et Marckschorgast, et les Alpes génoises entre Turin et Gènes. C'est ainsi que l'on traversera le Jura entre Pontarlier et Lausanne, Pontarlier et Neufchâtel, le Luckmanier entre Coire et Bellinzone.

Les pentes dépassant 20 millimètres ne se trouvent pas en Europe uniquement sur les chemins allemands, suisses ou italiens. En Angleterre même, on rencontre sur le chemin de Birmingham à Gloucester une rampe de 27 millimètres, longue de 5,440 mètres; sur celui d'Édimbourg à Glasgow, une rampe de 24 millimètres sur 2,400 mètres de longueur, et une rampe de 20 millimètres sur celui de Manchester à Leeds. Sur les chemins aboutissant au port d'Hartlepool, on remonte des pentes plus fortes encore; mais ces chemins sont plutôt consacrés au transport du charbon qui descend vers ce port qu'à celui des voyageurs.

La question des pentes fortes sur les chemins de fer et de l'emploi des locomotives pour les remonter a été traitée d'une manière tout à fait supérieure par M. Couche, ingénieur en chef des mines,

dans un article des *Annales des mines* intitulé : *Influence du progrès des locomotives sur le tracé des chemins de fer*¹.

Nous engageons ceux de nos lecteurs qui voudraient l'approfondir à consulter ce Mémoire.

Bien des personnes pensent que l'on pourrait dépasser même les pentes que nous venons d'indiquer en gravissant ces fortes rampes à l'aide de machines fixes. C'est ainsi que l'on a établi un grand plan incliné aux abords de la ville de Liège et qu'on l'a desservi à l'aide de machines fixes. Mais l'emploi des plans inclinés à machines fixes sur les chemins de fer a l'inconvénient d'occasionner une grande gêne dans le service de l'exploitation ainsi que de grands retards, et il n'a pas même toujours l'avantage qu'on serait tenté de lui supposer, de réduire notablement les frais de construction. En effet, le tracé sur ces sortes de plans inclinés n'admettant pas de grandes sinuosités et des pentes variées, on se trouve conduit, pour le plier à ces conditions, à exécuter des travaux d'art et de terrassement souvent considérables. Ainsi, sur le plan incliné de Liège, long de 4,000 mètres, le cube des terrassements s'est élevé à 560,000 mètres cubes.

Les transports s'effectuent aussi avec économie sur une pente de 5 à 6 millièmes. Sur le chemin de Rive-de-Gier à Givors (partie du chemin de Saint-Étienne à Lyon), les chariots descendent par l'effet seul de la gravité et remontent à l'aide de machines ou de chevaux.

Si par nécessité toutefois ou par raison d'économie, sur de petites lignes de second ordre, on fait usage de plans inclinés, on peut sans inconvénient leur donner, pour le transport des marchandises, l'inclinaison naturelle du sol, quelque forte qu'elle soit; mais on ne saurait transporter sans danger des voyageurs sur des pentes qui dépassent celles des plans inclinés de l'ancien chemin de Roanne à Saint-Étienne, et dont la limite était de 5 centièmes.

L'autorité, en Angleterre, a défendu tout transport régulier de voyageurs sur le chemin de Cromfort à Peakforest dans le Derbyshire, parce que la pente s'y élevait en plusieurs points jusqu'à 11 centièmes.

¹ *Annales des mines*, 2^e livraison de 1852.

Le chemin doit, autant que possible, entrer dans les stations extrêmes en rampes de 2 ou 3 millièmes. Ces rampes ont un double but : celui de ralentir les convois à l'arrivée et celui d'en faciliter le départ.

Dans les stations intermédiaires, où les trains partent tantôt dans une direction, tantôt dans l'autre, et où l'on est obligé quelquefois de faire pousser les wagons sur les voies de garage par des hommes dans tous les sens, le rail doit être de niveau.

Il faut aussi établir le chemin de niveau à l'emplacement des changements de voie ou dans toute autre partie où la résistance se trouve déjà augmentée par d'autres causes que la pente.

Nous avons dit que la théorie des machines locomotives était encore trop incomplète et le mode de construction de ces machines encore trop variable pour qu'on pût déterminer, par des calculs certains, des rapports mathématiques entre les dimensions de ces moteurs et le tracé d'un chemin de fer. Nous indiquerons néanmoins, au chapitre des locomotives, quelle est la marche que l'on doit suivre si on veut se contenter d'approximations. On prend alors pour types certains modèles de machines en usage et pour base du calcul certains résultats d'expérience.

ÉTENDUE DES GARES ET DIMENSIONS DE LA VOIE.

Étendue des gares. — Nous avons montré que le choix de l'emplacement d'une gare n'était pas toujours sans influence sur le tracé. L'étude des gares, du moins en ce qui concerne leur emplacement et leur étendue, doit donc avoir lieu en même temps que celle du tracé de la ligne proprement dite.

Il nous reste à présenter quelques considérations à ce sujet.

Déjà nous avons signalé les inconvénients et les avantages des gares communes; nous avons essayé de faire comprendre que les gares extrêmes doivent être établies à une plus ou moins grande distance du centre des villes, suivant que les terrains sur lesquels le chemin de fer doit être construit dans l'intérieur de la ville sont plus ou moins coûteux, suivant la longueur du chemin, la nature du tonnage, etc. Nous avons dit aussi combien il importait d'éloi-

guer les gares de voyageurs ou de marchandises des tranchées ou des souterrains courbes.

Il est rare que, quelque soin qu'ait pris un ingénieur de placer une gare à la plus petite distance possible des villes que le chemin de fer dessert, les conseils municipaux de ces villes ne tentent d'obtenir par la voie des enquêtes des modifications dans le tracé ayant pour but de le conduire plus près encore du centre. Il faut prévoir cette opposition et réunir à l'avance tous les éléments nécessaires pour la combattre¹.

Il ne suffit pas qu'une station soit à proximité des quartiers populeux d'une ville, il faut encore que les abords en soient faciles. C'est une des principales conditions à remplir.

Il n'est pas moins utile de donner à la station l'étendue nécessaire aux besoins du service. Cette étendue varie suivant la nature et l'importance de ce service.

L'étendue d'une gare extrême de chemin de fer est ordinairement considérable. Dans les grandes villes, où viennent se croiser des chemins de fer qui traversent le pays d'une extrémité à l'autre et auxquels viendront se souder dans l'avenir une infinité de branches plus ou moins longues, on ne saurait faire les gares trop vastes.

Personne ne peut prévoir quelle limite atteindra un jour le mouvement toujours croissant des voyageurs et des marchandises, et, si on n'agrandissait les gares qu'au fur et à mesure des besoins, on s'exposerait à payer un prix exorbitant pour les terrains nécessaires.

Il y a une vingtaine d'années, on considérait comme assez spacieuse, pour un service de voyageurs seulement, une gare de deux hectares environ, telle que la gare du chemin de Saint-Germain à Paris, commune aux chemins de Versailles (rive droite) et de Paris à Rouen ; mais cette gare, déjà trop exigüe pour ces trois chemins, a dû être considérablement agrandie afin de pouvoir rac-

¹ Le chemin de Nancy à Thionville par Metz possède deux gares aux abords de cette dernière ville. C'est le seul exemple que nous connaissions d'une ville aussi peu importante desservie par deux gares. La Compagnie n'en avait projeté qu'une seule. C'est le conseil municipal de Metz qui, par sa vive opposition, est parvenu à obtenir du conseil des ponts et chaussées l'établissement de la seconde.

corder le chemin de Versailles (rive droite) avec celui de l'Ouest.

Le plan ci-joint indique l'espace occupé par l'ancienne gare et celui dans lequel se trouvait renfermée la gare actuelle l'année dernière; la partie couverte de hachures étant la seule affectée à l'ancienne gare.

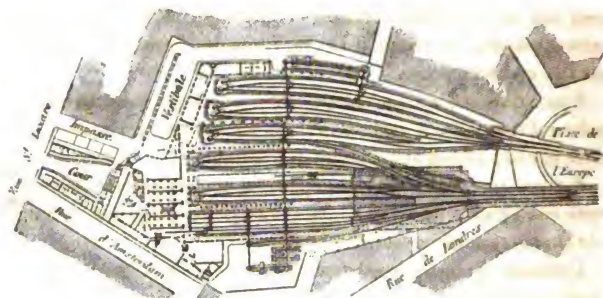


Fig. 7. — Plan de la gare des chemins de l'Ouest, à Paris.

La gare des voyageurs du chemin de fer du Nord à Paris couvre un espace de 7 hectares 90 ares, et elle est devenue insuffisante, puisque la Compagnie en établit aujourd'hui une nouvelle.

Celle du chemin de Strasbourg, occupant dans l'origine 4 hectares 57 ares, était beaucoup trop petite. La surface du terrain acheté pour l'agrandir est de 1 hectare 25 ares, ce qui porte sa contenance à 5 hectares 60 ares.

Mais c'est bien plus encore les gares pour les marchandises et les gares pour les ateliers que l'on sent aujourd'hui la nécessité d'augmenter. Tant qu'on s'est figuré que les chemins de fer n'étaient guère propres qu'aux transports des voyageurs, on s'est médiocrement préoccupé des dispositions à prendre pour le service des marchandises; mais les faits n'ont pas tardé à démentir cette idée fautive, et sur toutes les lignes importantes, en Angleterre et en France, on augmente aujourd'hui les gares de marchandises. Partout on a reconnu que les anciennes étaient trop petites, non-seulement parce que le chiffre du mouvement des marchandises s'était élevé, mais

aussi parce que les manœuvres dans les magasins et les cours ne pouvaient se faire avec rapidité et économie si l'espace était trop restreint.

En Angleterre, où cependant on devait être préparé à d'énormes transports de marchandises, où l'emploi des moyens mécaniques était depuis longtemps perfectionné, et où l'exploitation des canaux avait dû fournir des données précieuses sur le mouvement et l'emmagasinage de la marchandise, les gares des principaux chemins de fer ont subi ou doivent subir d'importantes modifications qui toutes ont pour objet, en accroissant l'étendue, en multipliant les quais et les hangars, de donner de nouvelles facilités au commerce et d'introduire de notables économies dans la manutention. Ces changements ne s'opèrent qu'avec des difficultés qui ne peuvent pas toujours être levées par de grands sacrifices d'argent.

Au chemin du Nord, la gare de la Chapelle, contenant une gare de marchandises et de grands ateliers de réparation, a 54 hectares 80 ares de superficie. Les ateliers occupent 14 hectares, et la gare des marchandises 20 hectares 8/10.

La gare de la Villette, au chemin de Strasbourg, dont la contenance ne devait être, d'après les premiers projets, que de 6 hectares 28 ares, a été, depuis, considérablement augmentée et le sera encore prochainement; son étendue est aujourd'hui de 54 hectares 50 ares, dont 9 hectares environ ont été consacrés à l'établissement d'une vaste carrosserie et de ses dépendances ainsi qu'à des remises de locomotives et de wagons, et 20 hectares seront affectés exclusivement aux voies principales et aux voies des marchandises. Il est vrai qu'en lui donnant d'aussi grandes dimensions on a eu en vue, non-seulement l'exploitation du chemin de Strasbourg, mais encore celle des autres chemins de fer de l'est de la France.

Au chemin de Rouen, la gare des Batignolles a 51 hectares 70 ares de superficie; 12 hectares 60 ares sont consacrés au services des marchandises, et le reste à des ateliers, remises, chantiers, voies, etc. A Bercy, la gare du chemin de Lyon occupe 24 hectares 80 ares, sur lesquels 9 hectares 11 ares servent à loger de grands ateliers, et le reste les bâtiments ainsi que les cours du service des marchandises.

Ce n'est qu'à la condition de créer des gares de marchandises extrêmes et même des gares intermédiaires très-vastes que les chemins de fer peuvent lutter avantageusement avec les voies navigables pour le transport des objets de peu de valeur, dont le volume est souvent considérable, et qui doivent être approvisionnés en grandes quantités pour pouvoir être transportés économiquement par convois complets.

Les gares de marchandises exigeant une aussi grande étendue de terrain, il devient presque toujours impossible de les loger dans l'intérieur des villes. C'est une des raisons pour lesquelles on les place en dehors, ou au moins dans les faubourgs.

Nous avons vu que les ateliers principaux, souvent contigus aux gares de marchandises extrêmes, occupent aussi un grand espace. Le chemin de Strasbourg, indépendamment de la carrosserie voisine de la gare des marchandises de la Vilette, possède à Épernay, pour la réparation des locomotives, un grand atelier qui couvre une surface de 9 hectares et des ateliers auxiliaires près de Metz. Un nouvel atelier, aussi vaste que le premier, avait été projeté pour la ligne de Paris à Mulhouse. On a reconnu qu'il suffirait d'agrandir les ateliers déjà existants.

Les gares intermédiaires, qui généralement admettent le service des marchandises aussi bien que celui des voyageurs, varient d'étendue suivant leur importance.

On peut les diviser, ainsi que nous l'avons fait dans le nouveau *Portefeuille de l'ingénieur*, en six types, comme suit :

Premier type. — Gares de passage hors ligne, telles que celles de Lyon, d'Orléans, de Tours, de Strasbourg, de Metz et de Nancy, et gares d'embranchement, où se trouvent ordinairement un dépôt de machines, des ateliers de réparation plus ou moins considérables, un buffet, etc., telles que celles de Montereau, Troyes, Épernay, Vierzon, Poitiers, Amiens et Lille.

Souvent les stations d'embranchement sont en même temps des stations hors ligne.

Second type. — Stations intermédiaires de première classe, admettant un mouvement considérable de voyageurs et un mouvement plus ou moins important de marchandises.

Troisième type. — Stations de banlieue des chemins parisiens, où le mouvement des voyageurs est très-grand, et celui des marchandises nul.

Quatrième type. — Stations intermédiaires de seconde classe, qui, pour l'ensemble du mouvement, peuvent être comparées à celles de Lagny, la Ferté-sous-Jouarre, etc.

Cinquième type. — Stations intermédiaires de troisième classe, telles que celles d'Ars-sur-Moselle, Brunoy, etc., etc.

Sixième type. — Stations très-petites, où le mouvement des voyageurs est très-peu considérable et le mouvement des marchandises insignifiant.

Des tableaux publiés dans le *Portefeuille de l'ingénieur*, qui donnent les dimensions d'un grand nombre de stations de différentes classes des chemins français et étrangers, il résulte que :

La surface occupée par les grandes gares intermédiaires hors ligne et par les gares terminales autres que les gares parisiennes, celles de Londres et de Bruxelles, abstraction faite de celles de Pesth, de Lyon et de Valenciennes, qui sont exceptionnelles, serait de 8 à 12 hectares;

Par les stations d'embranchement, abstraction faite de celle d'Épernay, qui contient de vastes ateliers, et de celle de Juvisy, qui est exceptionnellement petite, de 6 1/2 à 8 hectares;

Par les stations de banlieue :

1° D'un chemin placé dans les conditions du chemin d'Auteuil, de 5,000 à 4,000 mètres carrés;

2° D'un chemin placé dans les conditions probables du chemin de Vincennes, de 10,000 à 20,000 mètres carrés;

Par les stations intermédiaires de première classe, de 5 à 6 hectares 1/2, suivant l'importance et la nature du mouvement des marchandises;

Par les stations intermédiaires de deuxième classe, 2 hectares 1/2 environ;

Par celles de troisième classe, de 1 1/2 à 2 hectares;

Par celles du dernier ordre, de 1/2 à 1 hectare, rarement 1 hectare.

Au chemin du Nord on a, sur les dernières lignes construites,

dépassé sensiblement les limites, car les surfaces de terrains achetées ont été :

Pour les stations de 1 ^{re} classe.	.	6	hectares.
—	2 ^e classe.	5	—
—	3 ^e classe.	4	—
—	4 ^e classe.	5	—

On a, sans doute dans des prévisions d'avenir, dépassé les surfaces rigoureusement nécessaires. Cela est d'autant plus sage, qu'il arrive assez souvent que, par suite d'un développement de trafic inespéré, des stations d'un dernier ordre s'élèvent à un degré d'importance supérieure. Nous pourrions en citer d'assez nombreux exemples sur les lignes de l'Est.

Il faut aussi observer que les stations du chemin du Nord reçoivent fréquemment en dépôt de grandes quantités de charbons qui occupent beaucoup de place.

Dimensions de la voie. — Après avoir déterminé l'emplacement et l'étendue des gares, il faut, pour compléter l'étude du chemin telle qu'elle doit être faite avant que l'on commence les travaux, fixer les dimensions de la voie et de ses dépendances.

Largeur de la voie. — La largeur de la voie sur tous les chemins de fer servant au transport des voyageurs, en France et en Belgique, ainsi que sur la plupart des chemins anglais, est de 1^m,50 à 1^m,51 d'axe en axe des rails, ou de 1^m,44 à 1^m,46 seulement, si on la mesure de la face intérieure des rails.

Au chemin de Londres à Yarmouth, dit *Eastern-Counties-railway*, la voie a été établie avec 1^m,52 de largeur; sur les chemins de Dundee à Arbroath, et d'Arbroath à Forfar, cette largeur est de 1^m,68. Sur les chemins d'Irlande, et sur celui de Saint-Petersbourg à Paulosk, on l'a portée à 1^m,85; sur ceux de Hollande, à 1^m,95; enfin, sur le chemin de Bristol, M. Brunel a adopté une voie large de 2^m,12 de dedans en dedans, ou moitié en sus de la distance usitée de 1^m,44. En Espagne, on a adopté la largeur de 1^m,75.

Le tableau suivant indique la longueur des chemins à voies étroites et à voies larges construits en Angleterre au 1^{er} janvier 1859, ainsi

que celle des chemins de fer sur lesquels on a posé trois files de rails, afin de pouvoir marcher sur des voies de deux largeurs différentes (voie mixte).

CHEMINS DE FER ANGLAIS EXPLOITÉS AU 1^{er} JANVIER 1859.

	VOIE ÉTROITE (1 ^{re} , 44).	VOIE D'IRLANDE (1 ^{re} , 70).	VOIE LARGE (2 ^{me} , 13).	VOIE MIXTE.	TOTAL.
Angleterre.	9,609 ^k	»	1,205 ^k	420 ^k	11,234 ^k
Écosse.	2,199	»	»	»	2,199
Irlande.	8	1,897 ^k	»	»	1,905
TOTAL.	11,816 ^k	1,897 ^k	1,205 ^k	420 ^k	15,558 ^k

Le but que l'on s'est proposé principalement en agrandissant l'espace entre les rails est de se ménager la possibilité de construire des machines locomotives plus larges avec des roues d'un plus grand diamètre, munies de chaudières plus puissantes, et, par suite, capables de marcher à des vitesses supérieures.

Quelques fabricants de machines ont aussi demandé que la voie fût élargie, afin, disaient-ils, que, les pièces du mécanisme placées entre les roues occupant un plus grand espace, il en résultât plus de facilité dans la construction et l'entretien.

La controverse sur la question de savoir quelle était la largeur de voie la plus convenable a été très-vive, surtout entre les ingénieurs anglais. Une commission a été nommée par le gouvernement anglais pour l'examiner. Voici quelles ont été les conclusions du rapport qu'elle a publié :

1^o L'élargissement de la voie ne présente aucun avantage en ce qui concerne la sûreté et le confort des voyageurs.

2^o On peut, avec de larges voies, atteindre de plus grandes vitesses qu'avec les voies ordinaires; mais il y aurait du danger à dépasser le maximum de vitesse obtenu sur les voies ordinaires avec des chemins construits comme le sont les chemins actuels. (Cette

vitesse, avec les nouvelles machines de Crampton, peut atteindre de 100 à 110 kilomètres par heure.)

3° La voie ordinaire est préférable pour le transport des marchandises, elle est mieux appropriée aux exigences du commerce.

4° L'usage des larges voies nécessite de plus grandes dépenses d'établissement, et la réduction qui en résulterait dans les frais d'entretien et de locomotion ne paraît pas être de nature à compenser l'accroissement des premiers frais.

5° Il est très-important que, dans un même pays, la largeur de la voie soit uniforme. On éprouve de grands inconvénients des différences de largeur des voies du chemin de Bristol et du chemin de Gloucester, et on a dépensé une somme considérable pour ramener, sans interrompre l'exploitation, la voie du North-Eastern-railway à la dimension ordinaire (1^m,44).

6° Le mécanisme des nouvelles machines étant beaucoup plus simple que celui des anciennes et étant placé en grande partie, ainsi que les cylindres, en dehors des roues, l'objection des fabricants qui réclamaient une plus grande largeur de voie, afin de le loger plus facilement, est devenue sans valeur.

7° La commission ne voit donc aucune raison pour opérer un changement dans la largeur de la voie (1^m,44 intérieurement).

Nous avons exprimé, dans la première édition de cet ouvrage, une opinion semblable à celle de la commission anglaise; mais nous nous rangeons à l'opinion de M. Polonceau, qui a une plus grande expérience que nous de la construction des machines, et qui est d'un avis contraire.

L'agrandissement de la voie est, du reste, impossible dans des pays comme la France, la Belgique, l'Allemagne, etc., où de grands réseaux sont déjà livrés à l'exploitation, et où il serait très-fâcheux d'introduire de nouvelles lignes avec une voie différente. Mais il y aurait sans doute des avantages à adopter une voie plus large dans certains pays qui ne possèdent encore qu'un très-petit nombre de chemins de fer. En Russie, surtout, où le terrain est peu coûteux, et où les ouvrages d'art, les grandes tranchées et les grands remblais sont peu nombreux, la voie large semble parfaitement motivée.

En France, sur plusieurs lignes récemment construites, on a

augmenté la largeur entre les faces intérieures des rails d'environ 1 centimètre, afin de faciliter le mouvement oscillatoire des roues connu sous le nom de mouvement de lacet. Une différence aussi légère entre les nouvelles et les anciennes voies n'oblige en aucune manière à employer des machines différentes.

Largeur de l'entre-voie. — La largeur de l'entre-voie (espace entre les deux voies parallèles), sur la plupart des chemins de fer de France et de Belgique, est de 1^m,80; sur le chemin de Lyon, elle est de 2^m,20; sur le chemin de Londres à Birmingham, de 1^m,92; sur le chemin de Bristol, de 1^m,87; sur le chemin de Bruxelles à Mons, cette largeur est de 2^m,50; sur les chemins russes, de 2,15.

On détermine la largeur de l'entre-voie de manière que, deux convois qui marchent en sens contraire venant à se croiser, il reste entre les caisses des voitures un espace libre assez grand pour que les marchepieds ne puissent se choquer et que les voyageurs ne puissent se blesser en sortant la tête par la portière.

La largeur de l'entre-voie sur le chemin de Lyon nous paraît la plus convenable. Nous ne verrions même que des avantages à l'augmenter de quelques centimètres. On pourrait alors donner un peu plus de largeur aux caisses des voitures et établir au dehors des galeries qui seraient d'une grande utilité.

Sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, l'entre-voie n'étant que de 1 mètre, on s'est trouvé fort gêné pour la construction des voitures, et on a été obligé de leur donner une grande longueur en faisant porter la caisse sur deux trains séparés.

Sur le chemin de Liverpool à Manchester, construit vers la même époque que celui de Saint-Étienne à Lyon, l'entre-voie est plus grande; elle est de 1^m,55.

Si le matériel du chemin de Paris à Mulhouse n'eût pas dû circuler sur toutes les autres lignes du réseau de l'Est, on eût certainement donné 2^m,20 au moins de largeur à l'entre-voie de ce chemin; mais, eu égard à cette circonstance, on s'est borné à adopter la largeur de 2 mètres, qui est de 20 centimètres plus grande que celle du chemin de Paris à Strasbourg, uniquement parce qu'il a été reconnu que, avec la largeur de 1^m,80 et le matériel ordinaire,

le service était souvent dangereux. On a aussi adopté cette largeur de 2 mètres pour les nouvelles lignes du réseau du Nord. Elle est imposée par les cahiers de charges pour les nouveaux réseaux.

Pour les chemins du Midi, l'entre-voie est de 1^m,86.

Largeur des accotements. — La largeur des accotements varie, ainsi que l'inclinaison des talus, avec la nature des terrains. Elle doit être d'autant plus grande que le sol sur lequel repose la voie est plus mauvais. Ainsi, sur les remblais en terrains ordinaires, elle est de 0^m,50 plus grande que dans les tranchées. Lorsque le terrain est marécageux, c'est au contraire dans les tranchées qu'elle est la plus grande. Dans certains terrains de ce genre, elle est de 5 mètres en tranchée et de 1^m,50 à 2 mètres en remblai.

Cette largeur est nécessaire pour que l'ébranlement produit lors du passage des convois ne puisse déterminer facilement des éboulements et pour que, dans le cas où des éboulements auraient lieu, les voies ne puissent pas être entraînées ou couvertes facilement.

On proportionne aussi la largeur de l'accotement à la résistance que présente le ballast au déplacement latéral des traverses. Plus le ballast est résistant, moins il est sujet à *couler*, plus est faible la largeur de l'accotement.

Sur le chemin de Bristol, en terrain ordinaire, la distance de la face extérieure du rail à la crête du remblai ou à l'arête du fossé est de 1^m,45; sur le chemin de Liverpool à Manchester, de 1^m,52; sur celui de Londres à Birmingham, de 2^m,20; sur les nouveaux chemins belges, elle est de 1^m,75.

Sur les chemins de fer français récemment construits, elle doit être, aux termes du cahier de charges, en bon terrain, de 1 mètre en déblai et de 1^m,50 en remblai.

Dans les souterrains, et quelquefois sur les ouvrages d'art, on diminue la largeur de l'accotement afin de réduire la dépense. Les eaux s'écoulent alors par un fossé ou par un aqueduc placé au milieu. Il ne faut pas oublier qu'une trop grande réduction de la largeur de l'accotement dans les souterrains peut exposer à de graves accidents.

Largeur des fossés. — La largeur des fossés creusés le long de la chaussée au pied des talus des tranchées ou des remblais, et, en gé-

néral, toutes leurs dimensions, doivent être en rapport avec le maximum de la quantité d'eau qu'ils sont destinés à recevoir.

Au chemin de Strasbourg, dans une partie du chemin voisine de Nancy, les fossés étant de dimensions insuffisantes pour donner écoulement aux eaux au moment d'une grande crue, la chaussée a été inondée, le ballast a été enlevé, et la voie dérangée à tel point, que le convoi-poste, arrivant à grande vitesse sur cette voie, a déraillé, et que si cet accident n'a pas eu de graves conséquences, cela tient à des circonstances exceptionnelles.

Il est par conséquent de la plus haute importance de préserver aussi bien que possible, par des moyens quelconques, tous les ouvrages d'un chemin de fer, et notamment la voie, du contact des eaux, soit souterraines, soit pluviales. On ne doit rien épargner pour atteindre ce but.

Inclinaison des talus. — Les règles qui servent à déterminer l'inclinaison des talus des tranchées ou des remblais pour les routes ou pour les canaux s'appliquent aussi aux chemins de fer. Nous devons néanmoins faire observer que, sur un chemin de fer, les conséquences d'un éboulement sont bien autrement graves que sur une route ordinaire, bien plus difficiles à réparer, et que les dépenses pour modifier les talus d'une tranchée, une fois le chemin en activité, sont bien plus considérables.

Il est donc essentiel, sur un chemin de fer, de déterminer l'inclinaison des talus avec assez d'exactitude pour qu'il ne devienne pas nécessaire de les retoucher après l'ouverture du chemin.

Sur le chemin d'Alais à Beaucaire, l'éboulement du talus d'une tranchée a occasionné, en barrant la voie, la rupture d'une locomotive et de plusieurs wagons chargés de charbon. Sur celui de Londres à Bristol, un accident du même genre a eu pour conséquence la mort de plusieurs voyageurs. Sur le chemin de Versailles (rive gauche), dans la grande tranchée de Clamart, la rectification d'une partie des talus, après l'ouverture du chemin, a exigé une dépense double de celle qui eût été nécessaire pour le même travail s'il eût été fait de prime abord.

L'angle sous lequel se soutiennent les talus des tranchées varie suivant la nature du terrain. On trouvera d'utiles indications à cet

égard dans l'ouvrage de M. Minard *sur les ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux*, et dans l'ouvrage anglais de Brees, traduit en français sous le nom de *Science pratique des chemins de fer*.

Quel que soit cet angle, il ne faut pas oublier que tel terrain qui résistera avec un talus d'une grande inclinaison avant d'être exposé aux intempéries de l'air pourra s'ébouler sous le même angle lorsqu'il en aura subi l'influence. Certains schistes, surtout, s'attendrissent en peu de temps au contact de l'air.

Lorsque le terrain est très-coulant, les talus ne se soutiennent sous aucun angle, et il faut dans ce cas employer différents moyens que nous indiquerons au chapitre des terrassements.

Disposition des talus. — Anciennement, on était dans l'usage de ménager, sur les talus des grandes tranchées, à une petite hauteur au-dessus du fossé, une banquette d'environ 0^m,30 de largeur, sensiblement inclinée contre les talus. Cette banquette avait pour but d'empêcher les petites pierres qui se détachent des talus, surtout par l'action de la gelée et du dégel, de descendre dans le fossé et de l'obstruer. Elle recevait aussi, comme lieu de dépôt momentané, des boues dépendant du nettoyage des fossés. Aujourd'hui on supprime la banquette B (fig. 8), et on remplace le profil en ligne

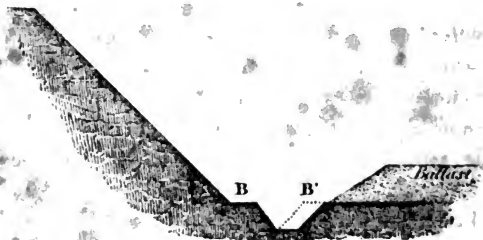


Fig. 8. — Banquettes.

pleine au bas du talus par le profil en ligne ponctuée. La banquette se trouve alors transportée en B' le long de la chaussée, et elle sert en même temps au dépôt momentané des boues et à la circulation des cantonniers. La largeur de cette banquette a été, dans

le cahier des charges imposé aux Compagnies en 1859 pour les nouveaux réseaux, fixée à 0^m,50.

Quant aux pierres détachées des talus, elles descendent dans le fossé, d'où on les retire en le nettoyant.

Quelques ingénieurs, cependant, ayant remarqué que les boues déposées sur la banquette qui longe la voie nuisaient à l'écoulement des eaux qui traversent la chaussée et gênaient pour la circulation, ont maintenu la banquette sur le talus.

On a aussi ménagé des banquettes ou construit des cavaliers du côté des vents dominants et planté des arbres.

Souvent encore on a établi d'autres banquettes espacées de quatre mètres en quatre mètres ; elles divisent les lignes de plus grandes pentes de talus en plusieurs parties sur lesquelles les eaux pluviales ne peuvent pas acquérir une vitesse capable de les raviner. Néanmoins l'expérience a démontré que ces banquettes étaient plutôt nuisibles qu'utiles si on ne les disposait pas en forme de fossés dans toute leur longueur. Dans ce cas, on donne écoulement aux eaux de ces fossés au moyen de rigoles en maçonnerie établies de distance en distance sur la surface des talus.

Sur certains chemins de fer, celui de Lyon, par exemple, on a placé avec avantage des cavaliers ou des petits murs au sommet des talus des tranchées.

Précautions contre la neige. — Au chemin de Strasbourg, dans les mois de février et décembre 1855, et dans les premiers jours de janvier 1854, des encombrements de neige ont, sur divers points, forcé à suspendre la marche des trains. Ces encombrements ont été produits par des quantités de neige considérables qu'une tempête de vent ouest-sud-ouest balayait dans la plaine et chassait dans les tranchées. Ce sont surtout les tranchées peu profondes qui ont été comblées; les grandes tranchées ont été épargnées; les neiges se sont accumulées dans le haut des talus, mais sans s'étendre sur la voie de fer. Dans les parties boisées, les tranchées peu profondes ont été préservées des neiges aussi bien que celles d'une grande profondeur.

Pour se préserver autant que possible de ces envahissements de la neige, les clôtures sèches ont été remplacées par des écrans en

planches. Ces écrans ont produit un assez bon effet; et nous en avons fait usage fréquemment depuis lors.

« Les accumulations de neige, dit M. Muntz, ont lieu principalement du côté des vents dominants, dans les tranchées, dans les passages des remblais aux déblais, et sur les points où une barrière ou un passage par dessus forme un obstacle qui arrête l'action des vents..

« Le moyen le plus efficace qu'on emploie pour garantir les points les plus exposés consiste dans l'élargissement de la tranchée par la création d'une banquette de 2^m,50 à 4 mètres de largeur, établie du côté des vents dominants; de plus, dans la construction d'un cavalier de 1^m,20 à 1^m,50 de hauteur et élevé à une certaine distance de la crête du talus.

« Ces deux précautions réunies suffisent pour forcer les neiges à se déposer sur les banquettes et à n'envahir que faiblement la voie proprement dite. L'élargissement de la tranchée présente encore l'avantage de faciliter le passage de la grande charrue à neige, qui, sans cette précaution, comprimerait tellement la masse, qu'elle pourrait difficilement la traverser quand les hauteurs de neige atteignent de 1^m,00 à 1^m,20.

« En Bavière, on se contente quelquefois, au lieu de former une banquette, de donner au talus des tranchées exposées aux neiges mouvantes une inclinaison de 5 de base pour 1 de hauteur, pour conserver aux vents la possibilité de chasser la neige, qui se dépose sans cette précaution.

« Sur les points où il n'existe ni cavaliers ni banquettes, et où les encombrements se produisent sous l'action des vents forts et continus, on remplace les cavaliers par des clôtures en planches de 1^m,50 à 2 mètres de hauteur, placées de 7 à 10 mètres en arrière de la crête des talus, ou par des haies vives et des plantations d'épicéas et d'autres arbustes d'une croissance rapide. Ces plantations sont établies sur trois rangs parallèles si elles ne se font pas en massif.

« Les plantations essayées sur une vaste échelle ont rendu de très-bons services dès qu'elles avaient atteint une hauteur de 2 mètres, et les effets obtenus par ces moyens combinés ont été

tellement favorables, que la circulation n'a dû être interrompue, même dans les points les plus exposés, que pendant quelques heures, et à des époques éloignées de plus d'une année.

« Sur le Fichtelberg, on s'est contenté de former des haies avec des branches de pins et de sapins dont on pouvait disposer dans la localité, en attendant que les plantations eussent acquis la hauteur nécessaire pour servir d'abri. »

Inclinaison des talus. — L'inclinaison du talus des remblais est ordinairement de 1,5 sur 1. Elle est plus faible lorsque la nature du terrain oblige à donner de l'empatement au remblai.

Fossés d'assainissement. — Il est nécessaire aussi d'intercepter, au moyen de cavaliers ou de fossés, les eaux qui coulent à la surface, et qui pourraient endommager les grands talus. La bande de terrain nécessaire pour loger les cavaliers, les fossés, les treillages, les haies et les sentiers qui bordent les grandes tranchées doit avoir de 4^m,50 à 5 mètres de largeur, suivant les circonstances. On creuse également un fossé au pied des remblais quand l'inclinaison générale du terrain amène vers leur pied les eaux pluviales.

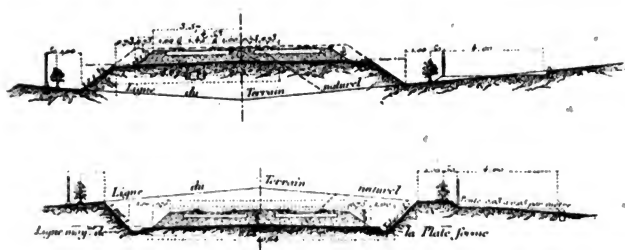


Fig. 9 et 10. — Profils en travers des chemins de fer de l'Est.

Les figures 9 et 10 représentent les coupes adoptées comme types pour la voie sur les nouvelles lignes du réseau de l'Est.

La largeur des fossés et de la bande de terrain qui bordent les tranchées et les remblais varie comme nous l'avons indiqué.

Quelquefois, lorsqu'il se trouve de grands arbres près de la voie, il peut être utile d'acheter le terrain qu'ils occupent, afin de les

abattre. Leur voisinage n'est pas sans inconvénients et même sans danger. Ils entretiennent sur la voie une humidité qui rend la traction difficile. Ils sont assez souvent mis en feu par des étincelles échappées de la locomotive. Enfin leur chute sur le chemin peut occasionner des accidents.

Espace occupé par le chemin. — Les renseignements suivants, empruntés aux *Documents statistiques*, publiés par le gouvernement en 1856, indiquent exactement l'espace moyen occupé par les différentes parties des chemins de fer construits en France à la fin de 1855.

L'ensemble des terrains acquis pour l'établissement des 4,065 kilomètres livrés à l'exploitation à la fin de l'année 1855 était d'environ 15,800 hectares, représentant 0,00027 de la surface de la France, et environ 54 hectares par myriamètre de chemin.

Cette moyenne, par myriamètre, varie d'une ligne à l'autre. Elle ne descend pas au-dessous de 16 hectares, et s'élève à 45 1/2 hectares pour le chemin de Frouard à Forbach.

D'après un relevé fait sur un assez grand nombre de chemins, les 54 hectares par myriamètre se décomposeraient comme suit :

	Superficie.	Hectares.	
1° Voie ou largeur en couronne.		9	ou 26 00
2° Stations, ateliers, cours, voies d'évitement.	<i>Id.</i>	5	— 9
3° Talus, fossés, banquettes.	<i>Id.</i>	17	— 50
4° Déviations de chemins et cours (hors clôture).	<i>Id.</i>	4	— 12
5° Terrains pouvant être revendus.	<i>Id.</i>	4	— 5
Ensemble.	<i>Id.</i>	54	ou 100 00

Ainsi, de toute la superficie acquise pour l'établissement des chemins de fer, les 85 centièmes sont compris entre clôtures, dont 55 centièmes seulement occupés utilement par la ligne, la voie et les gares.

La largeur de la bande occupée est ainsi de 54 mètres en moyenne. Celle des différents chemins de fer s'écarte plus ou moins de cette moyenne.

Ainsi elle a sur le chemin de Lyon.	54 ^m ,05
— — de Strasbourg.. . . .	28 ^m ,05
— — du Nord.	55 ^m ,05
— — d'Orléans.	42 ^m ,00
— — d'Orléans à Bordeaux.	55 ^m ,10
— — de Mulhouse.	55 ^m ,00
— — du Centre.	23 ^m ,20
— — de Blesmes à Gray.	56 ^m ,48
— — de Tours à Nantes.	57 ^m ,50
— — de Frouard à Forbach.	45 ^m ,60
— — de Creil à Saint-Quentin.. . . .	58 ^m ,10
— — d'Amiens à Boulogne.	54 ^m ,10

Nous avons présenté quelques considérations générales sur le tracé des chemins de fer, nous avons établi certaines règles pour le choix de la meilleure ligne à suivre; ce sera placer l'exemple à côté du précepte que de nous livrer à l'examen critique du tracé de quelques-uns des chemins de fer déjà exécutés.

DU TRACÉ DE QUELQUES CHEMINS DE FER REMARQUABLES.

Les chemins de fer, au point de vue de leur tracé, peuvent se diviser en :

- Chemins à pentes faibles.*
- Chemins à pentes moyennes.*
- Chemins à fortes pentes.*

Nous appelons :

Chemins à pentes faibles ceux dont l'inclinaison, à quelques exceptions près, reste au-dessous de 8 à 10 millimètres;

Chemins à pentes moyennes ceux sur lesquels on rencontre, sur une partie notable du parcours, des pentes atteignant 8 à 10 millimètres;

Chemins à pentes fortes ceux dont le tracé admet, sur une certaine étendue, des rampes inclinées de plus de 10 millimètres.

Les chemins à faibles pentes, sur lesquels le transport des voyageurs s'opère à grande vitesse, sont généralement desservis dans

toute leur longueur par des machines locomotives. Ce n'est que par exception que l'on a établi, dans le voisinage des stations extrêmes, des plans inclinés à machines fixes. Encore renonce-t-on depuis quelques années à ces machines pour leur substituer de puissantes locomotives.

Nous décrivons parmi ces chemins :

1° Le chemin de fer de Paris à Lille et Valenciennes (chemin du Nord).

2° Les chemins de Paris à Rouen, de Lyon à Avignon et d'Avignon à Marseille, chemins qui, avec ceux de Lyon et du Havre, constituent la grande ligne du Havre à Marseille.

3° Le chemin de Paris à Mulhouse.

4° Les chemins de Saint-Germain et de Versailles, rive droite et rive gauche, et le chemin de Paris à Auteuil.

5° Les chemins anglais de Londres à Birmingham, Midland-Counties-Railway, North-Midland-Railway, et Great-Northern-Railway, qui forment ensemble une des grandes artères qui s'étendent du sud au nord de l'Angleterre, de Londres à Newcastle. Sur toute l'étendue de cette ligne, les pentes ne dépassent jamais 4 millimètres, et le rayon des courbes est généralement de plus de 1,500 mètres.

6° Le chemin de Londres à Bristol (Great-Western-Railway), l'un des chemins de l'Angleterre les plus remarquables par son mode de construction et l'un des plus fréquentés.

7° Les chemins de Dublin à Kingstown et de Londres à Blackwall, établis pour des petits parcours aux abords des capitales.

8° Enfin les chemins allemands du Nord, de Vienne à Gloggnitz, le chemin badois et celui de Munich à Augsburg.

Parmi les chemins à pentes moyennes, nous avons choisi comme les plus dignes d'étude :

1° Les chemins de Rouen au Havre; de Paris à Lyon, de Paris à Orléans, de Paris à Strasbourg, et le chemin de ceinture de Paris.

2° Le chemin anglais de Londres à Brighton, qui peut être considéré comme le prolongement de la grande ligne de Newcastle ou d'Édimbourg à Londres vers la mer.

3° Le chemin de Londres à Douvres (South-Eastern-Railway),

qui, avec celui de Londres à Bristol, établit, dans le sud de l'Angleterre, la communication entre la mer du Nord et l'Océan.

4° Les chemins de Liverpool à Manchester et de Manchester à Leeds, qui forment les deux chaînons les plus importants de la ligne qui réunit l'Océan à la mer du Nord, aboutissant d'une part à Liverpool, et de l'autre à Hull.

5° Les chemins de Newcastle à Carlisle et de North-Shields, qui traversent, comme les précédents, l'Angleterre de l'orient à l'occident.

6° Le chemin belge de la vallée de la Vesdre entre Liège et Aix-la-Chapelle.

7° Les chemins du midi de la Suisse dits chemins de l'Ouest.

Enfin nous classerons parmi les chemins à pentes fortes :

1° Les chemins de Gloucester à Birmingham, de Hetton à Sunderland, de Darlington à Stockton, et de Cromford à Peakforest, en Angleterre.

2° Ceux de Saint-Étienne à Andrezieux, Saint-Étienne à Lyon, de Roanne à Saint-Étienne, d'Alais à Beaucaire, en France.

3° Les chemins allemands de Vienne à Trieste, les chemins saxo-bavarois de Brunswick à Harzbourg et de Stuttgart à Ulm.

4° Les chemins du nord de la Suisse et du Jura industriel.

5° Le chemin italien de Turin à Gênes.

CHEMINS A PENTES FAIBLES.

De Paris à Lille, Valenciennes, Boulogne (Chemin du Nord).

— Les premières études du tracé du chemin du Nord remontent à une époque déjà éloignée.

Dès 1831 et dans les années qui suivirent, des plans dressés par les soins d'une Société particulière furent successivement débattus au sein des conseils municipaux et des conseils généraux des départements. A cette époque, la lutte commença entre les localités dont les intérêts étaient contraires. Elle devint plus vive lorsque les enquêtes s'ouvrirent sur les projets de M. Vallée, ingénieur en chef, chargé, en 1854, par le gouvernement, « de chercher le moyen le meilleur de réunir entre eux les trois royaumes de France, d'An-

gleterre et de Belgique. » Telle était la lettre de ses instructions.

Le tracé de la ligne mère avait été étudié dans deux directions principales : l'une par Saint-Denis, Creil, Saint-Quentin, pour aboutir à Valenciennes ; l'autre par Saint-Denis, Creil, Amiens, Arras et Lille. La première ligne conduisait directement à Bruxelles, mais elle allongeait sensiblement le parcours de Paris à Londres. La seconde entraînait en communication directe avec les chemins du nord de la Belgique en se prolongeant sur Roubaix et Turcoing ; elle se liait aux chemins du Midi par un embranchement entre Douai et Valenciennes, et se prêtait mieux que la ligne par Saint-Quentin à la construction d'embranchements sur Boulogne, Calais et Dunkerque. Mais ce ne furent pas ces raisons qui lui firent accorder la préférence par le gouvernement. Le ministre des travaux publics, dans le rapport qu'il présenta aux Chambres le 15 février 1858, adoptant le système défendu depuis lors par M. Teisserenc, fit valoir en faveur du tracé par Amiens le parallélisme de la ligne de Saint-Quentin et des canaux.

« Déjà la ligne par Saint-Quentin, dit le rapport, possède une série de voies navigables les plus actives, les plus perfectionnées qui existent sur la surface du royaume ; ces voies ont contribué à un développement rapide de l'industrie des contrées qu'elles traversent, et, à raison de la nature des marchandises qu'elles transportent et du faible prix auquel ces transports s'effectuent, elles feraient aux chemins de fer une concurrence nuisible et peut-être ruineuse. La ligne d'Amiens, au contraire, trouve sur une partie de son développement une contrée dépourvue de communications faciles et économiques avec le centre du royaume, et qui n'attend, pour donner son essor au commerce et à son industrie que les débouchés qui lui manquent ; enfin elle rencontre un canal qui aboutit à la mer, et qui, cette fois, loin de nuire au chemin de fer, comme la ligne de Saint-Quentin, lui viendra en aide en lui permettant de s'approprier toutes les marchandises que le canal amènera dans l'intérieur du pays. »

A cette époque, on attachait encore une grande importance aux faibles pentes. « Le tracé par Amiens et Arras, dit le ministre, admet des pentes dont le maximum est de 5 1/2 millimètres ; mais

cette *infériorité* sur le tracé primitif par Saint-Quentin, dont les pentes n'étaient que de 5 millimètres, est peu sensible dans la pratique, et il n'est pas démontré que les études définitives ne puissent la faire disparaître. »

Les études définitives, en réalité, loin de conduire à une réduction dans le maximum des pentes, ont porté ce maximum à 5 millièmes.

Le tracé de la ligne mère une fois arrêté, les débats ont eu lieu sur celui des embranchements vers l'Angleterre. M. Vallée avait étudié deux combinaisons différentes, et donné la préférence à la construction simultanée de trois lignes, savoir : la ligne d'Amiens à Boulogne par Abbeville et Étaples ; celle de Lille à Calais par Aire, Saint-Omer et Watten ; et enfin celle de Watten à Dunkerque.

De 1858 à 1845, plusieurs commissions de la Chambre des députés, la Chambre elle-même, les ministres enfin qui se succédèrent au pouvoir, eurent tour à tour à exprimer leur opinion sur la combinaison proposée par M. Vallée. Partout elle rencontra une approbation pour ainsi dire unanime.

En 1845, la Compagnie avec laquelle M. le ministre des travaux publics avait traité pour l'exploitation du chemin de fer du Nord introduisit à son tour dans le débat un tracé nouveau, dû à la main habile et expérimentée d'un ingénieur anglais, M. Robert Stephenson. Dans ce tracé, le point d'intersection de l'embranchement de Calais avec le tronc principal se trouvait placé, non plus à Arras, mais à Ostricourt, petit village situé entre Lille et Douai.

Une commission de la Chambre des députés se prononça en faveur du tracé de M. Stephenson ; mais ce tracé fut repoussé par la Chambre des pairs.

Citer le rapport rédigé à cette occasion par M. le comte Daru, c'est présenter le résumé des plus hautes considérations que l'on puisse faire valoir à l'appui du tracé d'un chemin de fer.

« Les bénéfices de l'exploitation du chemin d'Ostricourt, dit M. Daru, seront incontestablement plus considérables que ceux résultant de l'exploitation de tous les autres tracés. Non que cette augmentation probable de produits soit due à la présence, sur eux

direction, de villes plus peuplées, plus riches, de routes plus fréquentées : les circonstances, à cet égard, sont analogues de part et d'autre ; mais elle provient de ce que les inflexions de cette ligne imposent à la circulation existante un détour, un déplacement dont le revenu profite. Autrement dit, le nombre de kilomètres parcourus est plus grand pour un même nombre de voyageurs.

« Nous avons vu d'ailleurs que ce tracé économiserait au Trésor (l'État construisant le chemin) dix à douze millions.

« Voilà les avantages réels, incontestables, qu'il présente. Au point de vue financier, il n'y en a pas qui puisse lui être comparé.

« Dès lors on comprend que M. Stephenson, qui opérait pour le compte d'une Compagnie particulière, et la commission de la Chambre des députés, qui délibérait à une époque où l'industrie des chemins de fer était en souffrance, où les capitalistes se montraient timides, défiants ; où la formation des associations nécessaires pour l'application de la loi du 11 juin 1842 était tout au moins fort incertaine, on comprend que M. Stephenson et la commission de la Chambre des députés se soient prononcés en faveur de la ligne d'Ostricourt.

« Reste à savoir si, abstraction faite de ces considérations particulières, le double avantage que nous venons d'indiquer (peu de frais de premier établissement et concentration du trafic) l'emporte sur le double inconvénient inhérent à l'exécution de cette ligne : l'allongement de 20 kilomètres de la distance comprise entre Paris et Londres, et l'allongement de 22 kilomètres de la distance comprise entre Lille et Dunkerque.

« La majorité de votre commission, messieurs, ne le pense pas. Le rattachement de la ligne de Calais du côté de Carvin lui paraît grever d'une manière fâcheuse et permanente des transports dont le bas prix est absolument nécessaire, ceux de la circulation partielle.

« En effet, 1° si ce tracé était adopté, Arras, chef-lieu du département du Pas-de-Calais, centre important d'expédition vers la capitale, se trouverait privé de moyens de communication avec Béthune, Lillers, Aire, Saint-Omer, c'est-à-dire avec les principaux

sièges du commerce local, qui resteraient eux-mêmes sans liaison entre eux, ou, du moins, qui auraient à parcourir, pour communiquer les uns avec les autres, des distances doubles ou triples des distances réelles qui les séparent. Or, entre ces villes, les échanges sont continus et les rapports fréquents. Les marchés qui s'y tiennent chaque semaine, ici pour les toiles, là pour les grains, ailleurs pour les huiles, attirent un grand nombre d'individus allant et venant sans cesse. Arras est le marché central vers lequel gravitent ces divers mouvements, qui se déplaceraient par suite des inflexions de la ligne projetée. Le chemin de fer de Carvin les attirerait vers Douai, ville aujourd'hui sans commerce, sans industrie, qui deviendrait avant peu le centre de toutes les opérations commerciales, car Ostricourt est une station trop insignifiante pour pouvoir être jamais autre chose qu'un lieu de passage sans importance. La circulation serait donc plus coûteuse, plus compliquée, et troublée dans son cours et dans sa pente naturelle.

« 2° La voie de Boulogne, par le littoral de la Manche, étant écartée, il convient de ne pas allonger outre mesure la route d'Angleterre, de ne pas ajouter 20 ou 25 kilomètres encore aux 55 kilomètres de longueur que la ligne d'Arras présente de plus que la ligne de Boulogne. On peut bien penser qu'une heure d'augmentation dans la durée du trajet influera peu sur l'activité des voyages de long cours ; mais on ne saurait affirmer que la circulation internationale ne souffrira point d'un allongement de 80 kilomètres et de l'élévation de la dépense qui en résulterait.

« 3° Dunkerque se trouve déjà à une grande distance de Lille par le tracé d'Hazebrouck ; il en est à 86 kilomètres, tandis que la ligne de fer directe aurait 75 kilomètres seulement. On a rejeté la pensée d'une ligne droite, comme trop dispendieuse et comme ne se reliant pas au réseau du Nord. En subissant cette nécessité, il faut éviter au moins de trop séparer l'une de l'autre deux villes dont la communauté d'intérêts est visible et se révèle par une circulation très-considérable. Sans parler du transport des marchandises, le mouvement seul des voyageurs de l'une ou l'autre extrémité est en effet représenté par 2 millions de kilomètres parcourus chaque année. L'économie résultant pour les voyageurs d'une abréviation

de 20 kilomètres sera donc représentée par un nombre total de 480,000 kilomètres, et, si l'on suppose que cette circulation double, hypothèse bien modérée assurément, par l'effet du chemin de fer, l'économie sera de 960,000 kilomètres, ce qui équivaut, en admettant 7 centimes pour le tarif moyen appliqué, à une valeur de 67,000 fr. par année, laquelle somme, capitalisée à 4 pour 100, représente 1,680,000 fr.

« Pour apprécier l'avantage financier de la combinaison d'Ostricourt, il faut tout compter : il faudrait, par conséquent, retrancher de la somme de 12 millions, provenant de la différence des devis, celle de 1,680,000 fr. qui profiterait sans doute à la Compagnie exploitante, mais au préjudice des populations traversées. On voit donc que l'épargne est moins considérable qu'on ne le suppose; elle se réduit à 8 ou 10 millions selon les tracés; que serait-ce si l'on faisait le même calcul pour la circulation de la ligne d'Arras à Dunkerque et Calais ?

« 4° Enfin la ligne d'Ostricourt satisfait moins bien que celle d'Arras aux conditions de la défense. L'une se replie, en effet, vers la capitale, s'abrite derrière les rives de l'Aa, de la Deule, de la Lys et des canaux, touche à des places importantes, etc., tandis que l'autre, au contraire, remonte vers le Nord, se rapproche de la frontière, et est par cela même plus accessible aux tentatives de l'ennemi. Elle ne permet pas, en cas d'attaque, de faire arriver aussi promptement des ordres, des troupes ou des munitions sur les points menacés.

« La majorité de votre commission pense donc que de pareils inconvénients sont de nature à contre-balancer les avantages d'une exécution plus économique et d'une exploitation plus fructueuse. »

Dans une autre partie de son rapport, M. Daru s'exprimait dans les termes suivants sur le degré d'importance qu'un gouvernement doit attacher aux économies à faire sur le capital de la construction.

« Une économie de 7,650,000 fr. est certes un argument considérable en faveur du tracé de M. Stephenson. Nous n'admettons pas que l'on soit recevable à le traiter avec dédain. Nous avons bien entendu formuler, nous avons même lu, dans le rapport des

ingénieurs, le singulier reproche que voici : « C'est là, dit-on, un tracé de Compagnie, cherchant les longs détours pour gagner davantage, et les travaux faciles pour dépenser moins. » Et l'on ajoute d'ordinaire que le gouvernement doit être animé de préoccupations différentes, qu'il doit avoir plus de prévoyance de l'avenir, plus de soins des intérêts généraux, moins de soucis du produit net et de la dépense. Messieurs, sans discuter en ce moment les avantages ou les inconvénients des deux systèmes, nous nous permettons dès à présent de rappeler qu'aux termes de la loi du 11 juin 1842 ce n'est pas seulement la Compagnie exploitante, c'est aussi et surtout le Trésor qui paye les frais de construction première. Or l'État est intéressé, tout comme les Compagnies, à mesurer les travaux sur leur utilité réelle, à proportionner les sacrifices qu'il s'impose aux avantages qu'il espère. Le point de vue du gouvernement et celui de l'industrie privée ne sont pas aussi divergents qu'on le suppose et qu'on aime à le répéter. L'administration doit compter ; elle ne doit pas affecter trop de mépris pour les considérations économiques et financières. Cela peut paraître mesquin, puéril, indigne d'un grand pays comme la France et de son gouvernement ; mais, à notre avis, rien n'est plus sérieux, plus nécessaire et plus sage. Pour nous, la question n'est pas de savoir s'il est théoriquement vrai que les Compagnies ont telle ou telle tendance, que l'administration tombe dans tel ou tel excès contraire ; si ces reproches, que mutuellement on se renvoie, de préoccupations avides ou de profusions ruineuses sont plus ou moins mérités, tout cela peut trouver place dans des discussions de système, et nous n'avons pas à nous en préoccuper ici. Nous avons uniquement à voir, dans chaque cas particulier, si l'importance des travaux que l'on demande est justifiée par l'importance des besoins auxquels ces travaux s'appliquent, et cela, quel que soit le moyen d'action que l'on emploie ; nous avons donc à examiner si une économie de 7,630,000 fr. est achetée trop cher au prix d'un allongement de parcours de 20 kilomètres. Toute la question est là ; nous ne faisons que la poser en ce moment ; plus tard nous chercherons à la résoudre. »

Ailleurs, M. Daru examine jusqu'à quel point le gouvernement

doit, en déterminant le tracé des grandes lignes de chemin de fer, respecter les existences créées, les droits acquis.

« De l'examen des faits, dit-il, il résulte que, pour respecter les droits acquis, ou plutôt les existences créées, établies sous la garantie et par l'effet d'habitudes anciennes, pour éviter des perturbations toujours fâcheuses dans la situation économique du pays, il faudrait donner la préférence à la ligne d'Amiens.

« D'un autre côté, pour satisfaire un plus grand nombre d'intérêts, pour rendre plus productifs les capitaux engagés dans la spéculation, il faudrait donner la préférence à la ligne d'Arras.

« Ainsi voilà deux principes en présence, tous les deux utiles et bons à observer, et que l'on ne peut pas appliquer simultanément. Lequel doit fléchir? Lequel doit l'emporter? Telle était la question à résoudre. Votre commission, messieurs, l'a mûrement examinée. Voici le résultat de ses délibérations.

« Il n'en est pas des chemins de fer comme des moyens vulgaires de locomotion. Les routes peuvent se multiplier, se ramifier à l'infini sur la surface du territoire, aller chercher en quelque sorte tous les besoins. Les voies de fer ne le peuvent pas. Elles entraînent avec elles trop de dépenses de construction, de surveillance, d'administration, pour que, dans l'état actuel des faits connus, on puisse songer à les distribuer, nous ne disons pas avec cette profusion, mais en proportion même de tous les besoins. Bien des révolutions s'accompliront dans la science, bien des changements s'opéreront dans la situation de l'industrie, avant que le réseau voté en 1842, où les lignes les plus importantes ont pu seules trouver place, soit construit. Par conséquent, il y aura bien des souffrances, il y aura un grand trouble porté dans la situation respective des diverses localités et dans les conditions de leur richesse relative. Aussi approuvons-nous hautement la juste sollicitude avec laquelle le gouvernement et les Chambres cherchent à diminuer, autant que possible, les maux inévitables, à ménager les transitions, à éviter ces déplacements de circulation qui dépouillent les uns au profit des autres. La sagesse, la justice, l'intérêt à venir des chemins de fer, le commandent. C'est une règle en dessous de toute application aux cas spéciaux; la commission veut avec raison généralement l'appliquer.

« Mais, lorsque l'application de cette règle a pour résultat de porter atteinte au principe fondamental de l'établissement des voies de fer, lorsqu'elle conduit à en multiplier l'emploi au delà des besoins, sans les proportionner à l'activité des relations existantes, ou à rendre ruineuses des entreprises qui auraient pu sans cela être profitables; alors mieux vaut, selon nous, produire un mal en quelque sorte individuel et local, par des mesures toujours regrettables en elles-mêmes, mais nécessaires, qu'un mal public et général, par des mesures conçues dans un faux esprit de conciliation. »

Les pentes du chemin de fer du Nord ne dépassent jamais 5 millièmes. De Paris à Soisy, dans la vallée de Montmorency, elles sont généralement de moins de 3 millièmes; à Soisy, on commence à s'élever vers Franconville, en suivant une rampe qui a environ 6 kilomètres de longueur, et dont la pente a 3 ou 4 millièmes; de Franconville, on descend à Pontoise par une pente à peu près semblable. De Pontoise à Clermont, les pentes sont ordinairement de 5 millièmes et au-dessous; de Clermont à Quincampoix, on gravit une rampe d'environ 4 millièmes, de 21 kilomètres de longueur, et de Quincampoix on redescend vers Amiens par une pente qui varie de 2 à 4 millièmes. D'Amiens à Miraumont, les pentes ne dépassent généralement pas 5 millièmes. Un peu plus loin, on trouve une rampe de 4 à 5 millièmes sur une longueur de 8 kilomètres, puis une pente de même inclinaison sur 5 kilomètres. Les pentes varient jusqu'à Douai entre 3, 4 et 5 millièmes; mais, comme elles se succèdent sur de petites longueurs avec des inclinaisons en sens contraire, elles ne sont pas défavorables à la traction. Le profil de Douai à Templemar est à peu près semblable. De Templemar à Wattignies, on suit une rampe de 5 millièmes sur 2,500 mètres environ; puis le profil jusqu'à Turcoing offre une série de pentes et contre-pentes variant de 1 à 5 millièmes. Le profil de l'embranchement de Douai à Valenciennes présente une grande analogie avec celui de Douai à Turcoing.

Les courbes de Paris à Saint-Just ont toutes au delà de 1,000 mètres de rayon. De Saint-Just à Amiens, on trouve deux courbes de 800 mètres. Au delà d'Amiens, les courbes ont également

4,000 mètres au moins de rayon, à l'exception de celle de 524 mètres de rayon au raccordement de l'embranchement de Valenciennes, tout près de Douai; d'une autre de 500 mètres près de la station de Lille, et d'une troisième de 620 mètres à la station de Turcoing.

Les pentes de 4 à 5 millièmes ne paraissent pas nuire à l'exploitation en ce qui concerne le transport des voyageurs; mais, lorsqu'elles s'étendent sur une certaine longueur et se trouvent sur des parties de trajet où la courbure du chemin accroît déjà la résistance, elles nécessitent quelquefois pour la traction des convois de marchandises l'emploi de machines de renfort.

On reproche au tracé du chemin du Nord le grand nombre de courbes, surtout dans certaines parties du trajet où il semble qu'on aurait pu les éviter, et la fâcheuse position de ces courbes dans des tranchées aux abords des stations.

A peine sorti de Paris, entre cette ville et la Chapelle-Saint-Denis, où sont placés les ateliers et la gare des marchandises, on trouve une partie de la ligne recourbée en S dans une tranchée où les trains ne peuvent s'apercevoir que d'une petite distance.

A Pontoise, les abords de la station, placée à l'extrémité d'une tranchée courbe et près d'un pont dont les remblais masquent les convois, sont considérés comme très-dangereux. Un passage à niveau dans ces conditions eût été préférable à un pont.

A Saint-Denis, la station se trouve également près d'un pont, et entre deux tranchées dont la courbure est en sens contraire.

De Clermont à Ailly, le tracé est très-tortueux et presque toujours en tranchées ou en remblais.

A Douai, les fortifications masquent les abords de la station, et on avait laissé subsister, tout auprès, des ponts tournants que la Compagnie a regardés comme tellement dangereux, qu'elle leur a substitué des ponts fixes.

La station de Breteuil est placée sur une rampe de 2 millièmes et demi, qui rend souvent difficiles la manœuvre et le départ des trains de marchandises.

On reproche aussi au tracé du chemin du Nord la multiplicité des passages à niveau : on en compte 1 par 1,200 mètres; c'est en

même temps une cause d'accidents et une lourde charge pour l'exploitation.

Les travaux d'art du chemin du Nord¹ n'offrent aucune particularité digne d'intérêt. Les travaux de terrassement ont été assez considérables. Sur certains points, ils ont présenté de grandes difficultés d'exécution, par exemple, la tranchée des Ogiers, entre Lille et la frontière belge, tranchée qui a été creusée par des procédés décrits dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

Deux stations sur le chemin du Nord méritent d'être étudiées : la station de départ à Paris et la station d'Amiens, commune aux chemins du Nord et d'Amiens à Boulogne. La charpente de la station de Paris est remarquable par sa légèreté.

On trouve, sur le chemin du Nord, plusieurs stations à point de rebroussement : celles de Lille, de Valenciennes et de Douai. On a établi des courbes de raccordement pour éviter aux convois l'entrée dans la station.

Le chemin du Nord est l'œuvre de deux habiles ingénieurs des ponts et chaussées, MM. Onfroy de Bréville et Busche.

Chemin de Paris à Rouen. — Le chemin de Rouen est l'un des chemins projetés, il y a vingt-cinq ans, dans le système des pentes les plus faibles. Les études du projet, qui a été mis à exécution, ont été faites par deux ingénieurs distingués du corps des ponts et chaussées, MM. Bellanger et Polonceau, que l'on a vus avec peine privés de la gloire de mettre à exécution cette grande œuvre, qu'ils avaient si habilement préparée.

Ce chemin, qui longe sur une grande partie de son parcours les rives de la Seine, ne présente nulle part des pentes dépassant 0^m,00562 par mètre, et le rayon des courbes n'y est pas de moins de 1,285 mètres.

Pour obtenir ce double résultat et pour diminuer le parcours, on a dû percer quelques-uns des mamelons que la rivière contourne. Aussi trouve-t-on sur le chemin de Rouen plusieurs tunnels d'une

¹ Depuis la publication de notre deuxième édition de nouvelles lignes ont augmenté le réseau du Nord. — On trouve sur celle de Paris à Creil un ouvrage d'art remarquable, le grand viaduc en pierre de Comelle. Nous le décrirons au chapitre des ouvrages d'art.

certaine longueur, parmi lesquels nous citerons celui de Rolleboise, long de 2;700 mètres, et exécuté en deux années.

Le tracé du chemin de Rouen, adopté à une époque où déjà l'on attachait moins d'importance à suivre la ligne la plus directe, passe cependant à 6 kilomètres environ de la ville de Louviers, et à 10 kilomètres d'Elbeuf, lorsqu'on aurait pu, sans de très-grandes dépenses, s'en rapprocher davantage.

Ce tracé n'est pas le seul qui ait été étudié : en 1854, un premier projet fut soumis aux enquêtes. Le chemin, d'après ce projet, s'éloignait considérablement de la rivière. De Paris, il se dirigeait sur Saint-Denis, Pontoise, Gisors, Charleval, puis, arrivé à Blainville-sur-Ry, au lieu de se porter vers Rouen, il se prolongeait directement et presque en ligne droite jusqu'au Havre d'un côté, et jusqu'à Dieppe de l'autre. Rouen n'était alors desservi qu'au moyen d'un embranchement jeté dans la vallée de Robec, et se trouvait ainsi délaissé à 20 kilomètres, sur la gauche, au fond d'une impasse et en dehors de la grande ligne de Paris à la mer.

Ce projet fut accueilli par un cri presque général de réprobation. Non-seulement la ville de Rouen fit entendre ses plaintes comme ancienne métropole de la province, comme centre du mouvement entre le Havre et Paris ; mais le Havre lui-même et les populations du pays de Caux, qui entretiennent avec Rouen des rapports continuels, protestèrent contre cette espèce de divorce auquel on les condamnait, ou tout au moins contre un circuit qui devait rendre presque nul le bienfait de la vitesse.

De nouveaux projets, toujours sur la rive droite et par les plateaux, furent étudiés. De nombreuses et importantes modifications furent apportées au projet primitif. Un tracé fut proposé qui desservait la ville de Rouen, non plus au moyen d'un embranchement, mais par le chemin principal, qui touchait un des boulevards de la ville, et se prolongeait ensuite sur la vallée de Déville jusqu'à la mer ; d'un autre côté, le Havre et le pays de Caux étaient mis en communication directe avec Rouen ; enfin, pour aller au-devant de toutes les objections, pour procurer à cette dernière ville un des avantages qui l'avaient séduite dans le projet de la vallée, un embranchement détaché de Charleval et descendant par la vallée de

l'Andelle venait aboutir au faubourg Saint-Sever, et offrait en même temps le précieux avantage d'établir des communications rapides avec les villes d'Elbeuf et de Louviers, ainsi qu'avec toutes les populations environnantes. Ce tracé fut sur le point d'être exécuté par l'ancienne Compagnie, dite des Plateaux, Compagnie qui entra en liquidation avant même d'avoir commencé les travaux.

Ce tracé des plateaux desservait la vallée de Montmorency, et, tout en se prolongeant aisément d'une part sur Dieppe, et d'autre part sur le Havre, il se prêtait facilement à des embranchements sur Bruxelles, Calais et Boulogne. Il était donc, au point de vue politique, préférable au tracé sur la rive gauche. Il mariait pour ainsi dire la France avec l'Angleterre et la Belgique; mais, d'un autre côté, il négligeait les riches et nombreuses populations de la partie de la vallée de la Seine comprise entre Louviers et Paris; il ne facilitait pas les rapports avec l'ouest de la France, et n'était pas protégé par le fleuve contre les agressions de l'ennemi. Enfin, et cette dernière considération a exercé, fort à tort, selon nous, une grande influence sur le choix de l'administration, il ne venait pas se souder comme le chemin actuel au chemin de Saint-Germain, et nécessitait par conséquent la construction d'une gare spéciale dans Paris.

Les chemins de Paris à Rouen, et de Rouen au Havre, ont été construits par M. Locke, ingénieur de plusieurs grandes lignes en Angleterre. Les travaux de maçonnerie de ces deux chemins ont un caractère de hardiesse particulier aux œuvres des ingénieurs anglais. Cette hardiesse dans les constructions n'a rien de dangereux, et, si l'un des plus grands viaducs du chemin du Havre s'est écroulé, cela tenait, non à ses dimensions, qui étaient suffisantes, mais au peu de soin apporté dans la confection des mortiers.

Les Anglais ont aussi introduit en France d'excellentes méthodes pour l'exécution des terrassements au wagon.

Chemin de Lyon à Avignon. — Le chemin de Lyon à Avignon forme le complément de la grande ligne de communication de Paris à Marseille, de l'Océan et de la mer du Nord à la Méditerranée. Cette ligne a toujours été considérée comme l'une des plus importantes à ouvrir sur le territoire du royaume; elle se recommande d'ailleurs sous d'autres points de vue non moins dignes d'intérêt,

et doit affranchir le commerce des entraves qu'apporte et qu'apportera toujours à la remonte la navigation du Rhône; elle tend, en outre, à maintenir au travers de notre territoire le commerce de transit de la Méditerranée sur la Suisse et sur le Rhin.

Les cotons de l'Égypte et du Levant arrivent par Trieste à Zurich et en Allemagne à bien meilleur marché que par Marseille, et, sans les douanes, qui prohibent l'entrée de cette marchandise en France par la voie de terre, tous les manufacturiers de l'Alsace préféreraient la tirer de Trieste par la voie de Zurich que de Marseille.

La vallée du Rhône étant plus favorable que toute autre voie pour arriver en Alsace et en Allemagne, le contraire arrivera lorsque les chemins de fer de Marseille à Lyon et de Dijon à Mulhouse seront livrés à la circulation sur toute l'étendue du parcours.

Marseille est non-seulement le chef-lieu du Midi, mais il est encore le centre du commerce de la Méditerranée. Ses relations avec le Levant, l'Égypte, l'Amérique et les Indes, sont immenses; elle en a lié de plus récentes avec Odessa et Trieste, et sa position est naturellement le nœud entre la métropole et la belle colonie d'Alger, appelée à prendre dans un avenir prochain un grand développement.

Par une conséquence naturelle de ces faits, Marseille est l'une des artères qui répandent au sein du royaume le plus de vie. Ses douanes, plus productives que celles du Havre, en font foi.

Il est donc vrai de dire que sa prospérité est, dans toute la force du terme, une richesse nationale; la France tout entière est intéressée à ce que les sources n'en tarissent pas.

Les premières études du chemin de fer de Lyon à Avignon ont été entreprises à l'aide du fonds de 500,000 fr., voté par la loi du 27 juin 1855, et dès l'année 1857 un projet complet, revêtu de l'approbation du conseil général des ponts et chaussées, avait pu être mis sous les yeux de la Chambre; ce projet, sauf quelques modifications que nous allons indiquer, a été adopté tel qu'il avait été arrêté à l'époque dont nous parlons.

Le tracé se raccorde à Lyon avec celui du chemin venant de Paris dans la gare de voyageurs de la presqu'île de Perrache, traverse le Rhône sur un pont à arches de fonte, tranche le faubourg de la

Guillotière, et s'établit sur la rive gauche du Rhône. De ce point, il se développe dans la plaine basse de la rive gauche du fleuve jusqu'au pied du coteau de Saint-Fond; après quoi, il passe au-dessous de Feyssin, Solaize, Ternay, Chasse, Seyssuel et Estreissin, et, se développant quelquefois au pied du coteau qui limite ces plaines, en longeant le Rhône au passage des rochers de Grabatton, des Roches-Piquées et des roches de Seyssuel, il s'avance jusqu'au fleuve. On arrive ainsi, après avoir traversé en coupure le petit seuil de Puissant-Dieu, à l'entrée de Vienne, sur un viaduc de 200 mètres de longueur, construit au bord du Rhône. Là, le chemin de fer franchit la route impériale de Marseille à Lyon, passe en souterrain sous le coteau de la Bâtie, sur un pont la rivière de la Gère, de nouveau en souterrain sous la ville de Vienne, et débouche derrière les casernes de cavalerie, à l'extrémité sud de la ville.

De ce point, le tracé se dirige successivement vers les plaines de l'Aiguille et du Bas-Pavé, se déroule entre la route impériale et le Rhône, puis longe le fleuve au passage des rochers de Harçon, coupe la plaine de Gerbay, se retrouve de nouveau au bord du fleuve au pied des rochers qui précèdent le village près de Condrieu, et traverse en souterrain la partie supérieure de ce village; le tracé est ensuite disposé de manière à passer au-dessous de Saint-Clair, puis dans la belle plaine basse du Péage, d'où il gagne le plateau de Saint-Rambert, en longeant immédiatement le Rhône au devant de ce village.

Après avoir parcouru le plateau de Saint-Rambert, le tracé se développe dans la plaine basse du Creux-de-la-Tuine, laisse derrière lui Andancelle, franchit le torrent de Bancel un peu au-dessous du rocher d'Isard, coupe la plaine de l'Aveyron, traverse de nouveau la route impériale, qu'il abandonne à sa droite, et se dirige sur Saint-Vallier, où il arrive par une longue tranchée.

Alors il s'établit derrière le bourg, sous la partie supérieure duquel il passe, puis il traverse le torrent de la Galaure, après quoi il longe la route impériale, dont il contourne les sinuosités jusqu'à Ponsas. De là, il suit la base des rochers, ayant à sa droite la route et le Rhône, et arrive au village de Serves, derrière lequel il dispa-

rait souterrainement. Après ce village, le tracé se maintient au pied des coteaux entre les villages d'Érôme et de Gervans jusqu'au commencement des rochers d'Aiguille, qui le rejettent en dehors de la route, et le forcent à passer derrière la ville de Tains. Il quitte alors cette route pour traverser la plaine à l'extrémité de laquelle il rencontre de nouveau, près de l'auberge de la Mule blanche, la route impériale, sous laquelle il passe, et se dirige ensuite à peu près en ligne droite vers le plateau de la roche de Glun, jusqu'à la rivière de l'Isère, qu'il traverse immédiatement en aval du pont de la route impériale.

Au delà de l'Isère, le tracé se prolonge presque en ligne droite, et parallèlement à la route, vers la ville de Valence, traverse en remblai le faubourg du Nord, et en souterrain le polygone et la promenade du Cagnard, et débouche au sud de la ville jusqu'auprès de Livron, où il est établi sur de longs alignements au-dessous de la route impériale jusqu'à la Drôme, qu'il traverse à 1,460 mètres en aval du pont de ladite route. De la Drôme, le tracé se replie en se rapprochant du Rhône pour venir contourner un coteau, silonner la plaine de Mirmande, et passer au-dessous du Logis-Neuf, de la Concourde, de Laine et de Derbières, dans l'espace resserré compris entre la route impériale et le fleuve. Il coupe ensuite en ligne droite la plaine de Montélimart, franchit la rivière torrentielle du Roubion, à environ 800 mètres en aval du pont de la route, et, après s'être développé dans la plaine, contourne le coteau de Châteauneuf, pour venir côtoyer le Rhône, au devant des rochers de Malmouche, jusqu'à la prise d'eau du canal de Pierrelatte, où il s'établit derrière le mur intérieur de ce canal et sur un mur de soutènement de 5,000 mètres de longueur, jusqu'au robinet de Douzères.

Depuis le robinet de Douzères jusqu'à Mondragon, le tracé est établi d'abord à droite, puis à gauche de la route impériale, sur de beaux alignements, se rapprochant de Pierrelatte et de la Palud : arrivé à Mondragon, il contourne ce village en traversant deux fois la route, puis se développe le long des coteaux qui bordent la route jusqu'à Mornas et Piolenc, arrive dans Mornas en tranchée profonde au pied des grands rochers qui dominent le village, rencontre Pio-

lenc, coupe le seuil de Beauchène et la vallée d'Aygues, et vient desservir à l'est la ville d'Orange.

De là il se rend, par de grands alignements, vers la vallée de l'Ourèze, en coupant le faite de Pécoulette, et la descend jusqu'à Sorgues, en touchant les riches villages de Courthejon et de Bédarides. De Sorgues, il gagne le hameau du Pontet, laisse la route à gauche, et, franchissant en remblai la plaine submersible d'Avignon, le long du Rhône, il contourne les remparts de cette ville à l'est et au midi, et vient enfin se rattacher à l'origine du chemin de fer d'Avignon à Marseille.

Le développement total de ce chemin, depuis sa sortie de Lyon jusqu'à Avignon, est de 251 kilomètres.

Le maximum des rampes et des pentes est de 5 millimètres, et encore n'en trouve-t-on d'aussi fortes que sur une longueur de 600 mètres, et de 4 millimètres sur une longueur de 575 mètres. Sur 186 kilomètres, la pente ne dépasse pas 5 millimètres ; le reste du chemin est divisé en 84 paliers formant ensemble une longueur de 44 kilomètres.

Trois courbes, une de 500 mètres de rayon et de 800 mètres de longueur, une seconde de 520 mètres de rayon et de 600 mètres de longueur, et une troisième de 600 mètres de rayon et de 859 mètres de longueur, sont placées à l'entrée de stations principales. Deux courbes ont 650 mètres de rayon, et toutes les autres au delà de 700 mètres.

Le cube total des terrassements est de 6,600,000 mètres cubes, soit, par kilomètre, environ 29,000 mètres cubes.

On ne trouve sur ce chemin aucune tranchée d'une grande importance. La plus considérable ne cube que 210,000 mètres.

La ligne comprend 56 gares ou stations. La gare la plus importante est celle de la Guillotière, destinée spécialement au service des marchandises.

Les stations les plus considérables sont, en suivant leur ordre d'importance, celles d'Avignon, Valence, Vienne, Montélimart, Orange et Tain. L'exécution de ce chemin fait honneur en même temps à M. Thirion, ingénieur en chef, à M. Paulin Talabot, di-

recteur, et à MM. Parent, Shaken, Peto, Brassey et C^{ie}, entrepreneurs.

Chemin d'Avignon à Marseille. — Les débats, quant au choix de la direction générale de ce chemin par Tarascon et Arles, n'ont pas été extrêmement vifs; mais, dans les détails du tracé et dans ceux de l'exécution, deux projets se trouvèrent en présence, celui de M. Kermaingant et celui de M. Talabot.

La première difficulté qu'il avait fallu résoudre, c'était, entre Avignon et Arles, de mettre le chemin à l'abri des inondations de la Durance et du Rhône.

M. Kermaingant proposait de renforcer seulement les digues existantes et d'établir au delà de ces digues le chemin au niveau du sol, comme le permettait sa conformation peu accidentée.

M. Talabot, au contraire, voulait, en laissant les digues pour ce qu'elles étaient, placer le chemin de fer en deçà, sur un remblai assez élevé pour se trouver toujours au-dessus des inondations.

Le cube de terrassement nécessaire à la formation de cette levée devait être de 1,750,000 mètres cubes, et la différence qui en résultait entre les devis des deux projets s'élevait à 2 millions de francs, somme dont une partie aurait certainement suffi à la mise en état des digues actuelles.

Mais la question de sécurité devait avoir le pas sur celle d'économie. Il parut indispensable de mettre ce chemin pour ainsi dire en état de se défendre lui-même; et, d'ailleurs, ne protégerait-il pas, comme première digue, les territoires compris dans son enceinte?

Le projet de M. Talabot fut donc adopté dès 1842, à cette légère modification près, que le niveau des rails, qu'il avait d'abord placé à une hauteur de 2 mètres au-dessus de la crue extraordinaire de 1840, fut abaissé de 50 centimètres par le conseil général des ponts et chaussées.

Quant à la section d'Arles à Marseille, serait-elle dirigée par le nord de l'étang de Berre, c'est-à-dire par Saint-Chamas, comme le proposait M. Talabot; le serait-elle par le sud par Bouc et les Margueries, comme le voulait M. Kermaingant?

Telle était la question.

Le conseil général, puis les Chambres, la décidèrent en faveur du nord par diverses considérations, dont la plus puissante était la plus grande facilité d'un embranchement sur Aix, ville importante par elle-même, et destinée d'ailleurs à devenir un jour la tête de la ligne directe de Toulon à l'Italie.

Cependant les deux tracés, ayant atteint la chaîne de l'Estaque, se retrouvaient en conflit devant un commun obstacle, qu'à une époque moins avancée de l'art on eût considéré comme insurmontable : il s'agissait de traverser la montagne de la Nerthe, haute de 240 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les deux projets et tous ceux que suscita cette difficulté étaient d'accord qu'on ne pouvait la vaincre qu'au moyen d'un souterrain.

Mais les opinions se divisaient sur la hauteur à laquelle il serait ouvert.

M. Talabot proposait de percer la Nerthe à 55 mètres au-dessus du niveau de la mer, ce qui plaçait la voie à 187 mètres au-dessous du point culminant du terrain supérieur, et donnait lieu à un tunnel de 4,600 mètres de longueur. On fut d'abord effrayé des difficultés, des dépenses et de l'incertitude d'un pareil travail; mais les autres propositions échouèrent toutes devant des objections plus graves encore.

On avait songé à élever le souterrain à 140 mètres, ce qui lui laissait encore une longueur de 1,500 mètres; mais il n'aurait pu être atteint qu'au moyen de deux plans inclinés prolongés sur les deux versants et franchis à l'aide de machines fixes ou de machines de renfort dont l'usage eût été onéreux à l'exploitation. D'ailleurs, à cette hauteur, le tracé à travers l'Estaque eût été très-tourmenté et l'ensemble du travail eût rencontré plus d'obstacles que le souterrain entier de 4,000 mètres.

Tout en restant à la hauteur de 55 mètres, on aurait pu diminuer de 500 mètres la longueur du souterrain à l'aide d'une pente de 7 millimètres. Cette faible abréviation ne compensant pas les inconvénients d'une inclinaison plus que double de celle des autres parties du chemin, on y renonça.

Enfin, en donnant au souterrain une inclinaison de 5 millimètres on aurait pu relever de 15 mètres sa côte de sortie. Mais,

outre que cette rampe, dans une si longue voie souterraine, pouvait n'être pas sans inconvénients, on n'abrégéait le trajet intérieur que de 100 mètres, et le chemin devait, dans ce système, suivre une direction qui l'allongeait de 7,700 mètres.

Le projet de M. Talabot prévalut donc sur ce point encore. Voté en 1843, exécuté depuis sous la direction de cet ingénieur, le chemin d'Avignon à Marseille est, depuis 1847, livré à la circulation tel que nous allons le décrire.

Le départ se fait en aval de la ville d'Avignon, selon une courbe de 1,000 mètres de rayon et avec une rampe de 5 millièmes par mètre sur 1,200 mètres de longueur.

Le chemin traverse la Durance sur un grand viaduc de vingt et une arches en anse de panier de 20 mètres d'ouverture chacune. Sa longueur totale est de 535 mètres; sa hauteur de 9 mètres au-dessus de l'étiage. Après quoi, jusqu'à Tarascon, rien de remarquable, les pentes étant toujours de 2^{mm},5 au plus et les rayons des courbes de 1,000 mètres au moins.

C'est à Tarascon que se fait l'embranchement de jonction avec le chemin du Gard. À cet effet, un pont a été jeté sur le Rhône, et l'embranchement, passant à Beaucaire, va rejoindre le chemin du Gard un peu au delà de cette ville.

De Tarascon à Arles, le terrain et le tracé sont encore moins accidentés que d'Avignon à Tarascon. Les pentes n'y sont plus que de 1 millième, et, tandis que, précédemment, le remblai atteignait 9 mètres de hauteur en quelques points, comme au viaduc de la Durance, tandis qu'on y rencontrait quelques tranchées assez notables, telles que celles de la Roque, on ne trouve ici qu'un remblai continu haut de 5 mètres au plus, mais le plus souvent de 2 ou 3 mètres. Enfin on n'y compte que deux courbes de 2,000 mètres de rayon chacune.

La station d'Arles est d'une grande importance. C'est là qu'est établi l'atelier central d'entretien et de réparation de tout le matériel.

Peu après ces ateliers, le chemin traverse divers canaux et fossés sur le grand viaduc d'Arles, composé de trente et une arches en anse de panier de 21 mètres d'ouverture chacune. Ce bel ouvrage

d'art présente une longueur totale de 769 mètres; mais sa hauteur maxima n'est que de 8 mètres. Au delà, le tracé présente, à la suite d'une courbe de 1,500 mètres de rayon, un alignement droit de 55 kilomètres environ. Il passe ainsi à Raphèle, à Saint-Martin-la-Crau, à Entressen, à Constantine, quelquefois en faible tranchée, mais le plus souvent en remblai peu élevé, ou même au niveau du sol. C'est seulement entre Constantine et Saint-Chamas que, rencontrant les croupes des chaînes qui viennent mourir près de l'étang de Berre et y forment une succession continue de rochers et de ravins, il présente, en plan, une série de courbes, la plupart de 1,000 mètres de rayon, mais parmi lesquelles il s'en trouve une de 800 mètres dans une assez forte tranchée, et, en profil, des alternances sans cesse répétées de remblais et de tranchées, dont, au reste, le cube ne s'élève guère au-dessus de 50,000 mètres.

Quant aux pentes, elles ne dépassent pas 3 millimètres.

Après Saint-Chamas, on remarque une courbe, dite de Versailles, de 900 mètres de rayon; une autre de 1,000 mètres lui succède, et c'est dans celle-ci que se trouve compris le viaduc de Saint-Chamas. Ce viaduc est jeté sur un ravin de 585 mètres de largeur et d'une profondeur maxima de 22 mètres.

Il est formé de quarante-neuf arches en ogive de 6 mètres d'ouverture chacune, ou plutôt de vingt-quatre arches et demie en plein cintre de 12 mètres, entrelacées de telle sorte qu'une pile de l'une se trouve dans l'axe de l'autre et que la clef de la seconde forme la partie supérieure d'un évidement dans le tympan de la première.

Ce genre de construction tout à fait nouveau ne manque ni de solidité, ni d'élégance, ni d'originalité.

Alors se continue, sur les bords de l'étang de Berre, la succession des remblais et déblais à travers ravins et rochers, sur une longueur de 6 kilomètres, et, à la suite de courbes successives de 1,000 mètres et au delà, elle se poursuit jusqu'à 5 kilomètres de Saint-Chamas. Puis le chemin redevient rectiligne et se tient presque au niveau du sol, sur une longueur de 7 kilomètres, jusqu'au delà de la station de Berre. Vers ce point, à Brani, on trouve une courbe de 870 mètres de rayon, de 1,516 mètres de développe-

ment ; puis une autre à Rognac, d'une longueur de 2,472 mètres, mais de 1,000 mètres de rayon.

On se dirige ensuite en ligne droite sur le Baoü, où se trouve un viaduc de 75 mètres de longueur et de 9 mètres de hauteur seulement, composé de sept arches inégales dont la plus grande a 12 mètres d'ouverture.

Ici reparaissent les courbes de 1,000 mètres environ ; l'importance des terrassements augmente, et une rampe de 5 millimètres sur 8 kilomètres conduit au viaduc de la Cadière, qui, d'une longueur totale de 65 mètres seulement, est formé de sept arches en ogive de 7 mètres d'ouverture chacune, construites dans le même système à peu près que celles du viaduc de Saint-Chamas.

De là enfin, par une rampe de 2 millimètres par mètre sur 1,000 mètres, on arrive à la tête nord du souterrain de la Nerthe.

La longueur de ce souterrain est de 4,620 mètres, sa hauteur sous clef est de 8 mètres. Il se trouve en rampe de 2 millimètres sur la moitié de sa longueur, en pente de 1 millimètre sur l'autre moitié. Il a été déblayé à l'aide de vingt-quatre puits espacés moyennement de 200 mètres, et dont le plus grand a 180 mètres de profondeur.

Les difficultés de ce percement et son prix de revient par mètre ont été à peu près les mêmes que pour le souterrain de Blaisy sur la ligne de Paris à Lyon : nous renvoyons donc pour plus de détails à la description de ce dernier chemin.

A la sortie de la Nerthe le tracé présente, en plan, plusieurs courbes consécutives de 1,000 mètres de rayon et une de 850, et, sur le profil, une suite de ravins, dont le plus grand a 17 mètres de profondeur, et que l'on franchit au moyen : 1° de deux viaducs, l'un de cinq arches ogivales ordinaires de 8 mètres, l'autre de sept arches en plein cintre aussi de 8 mètres d'ouverture ; 2° d'un remblai avec mur de soutènement de 90 mètres de long, indépendamment des remblais ordinaires.

On arrive ainsi à la station de l'Estaque, d'où l'on sort par une courbe de 1,000 mètres, puis, dans le cours d'un alignement droit de 5 kilomètres, on passe à Séon, où l'on trouve un petit souterrain de 460 mètres seulement, et l'on continue jusqu'à Saint-

Joseph. On parvient ensuite à Saint-Barthélemy par une courbe de 2,000 mètres de rayon, et enfin à Marseille par une dernière de 1,000 mètres.

Dans ce trajet de 11 kilomètres entre la Nerthe et Marseille, mais surtout jusqu'au petit souterrain dont nous avons parlé, le remblai succède continuellement au déblai, et *vice versa*, donnant lieu ainsi à des terrassements plus multipliés et irréguliers que considérables.

Quant aux pentes et rampes, elles y sont toutes de 1 millimètre, à l'exception de celle d'arrivée à Marseille, qui est de 2 1/2 millimètres.

En résumé, le chemin d'Avignon à Marseille a cela de particulier que, sur un parcours total de 120 kilomètres, dont près de la moitié à travers un pays de montagnes, il ne présente aucune pente supérieure à 5 millimètres, et n'a nécessité que fort peu de courbes de moins de 1,000 mètres de rayon.

Chemin de fer de Mulhouse. — Le chemin de Mulhouse, soudé au chemin de Strasbourg à Noisy-le-Sec (9 kilomètres de Paris), traverse la Marne à une grande hauteur tout près de Nogent; il monte ensuite sur les plateaux de la Brie, qu'il traverse sur 50 kilomètres de longueur, en desservant la ville de Nangis, et se confond à Flamboin avec le chemin de Montereau à Troyes. De Troyes à Chaumont, il suit la vallée de la Barse, traverse le faite séparatif des vallées de la Seine et de l'Aube, en passant par Vendœuvre, et arrive à Chaumont, où se trouve un tronc commun aux deux lignes de Mulhouse et de Blesmes à Gray. La première ligne quitte la seconde à Chalindrey, à 11 kilomètres de Langres, franchit les vallées de la Marne et de la Saône, dessert Vesoul, traverse le faite séparatif des vallées de la Saône et de l'Ognon, dessert Lure et Belfort, franchit au delà de ce point le grand faite séparatif des cours d'eau du bassin de la Méditerranée et de celui de l'Océan; puis enfin aboutit à Mulhouse, après avoir suivi les vallées de la Savoureuse et de l'Ill.

La pente maxima du chemin de Mulhouse ne dépasse pas 6 millièmes, et le rayon des courbes, si ce n'est dans les stations, ne descend pas au-dessous de 800 mètres.

Les travaux ont une grande importance. Le cube des terrassements est de 14 millions de mètres cubes, soit 38,000 mètres cubes par kilomètre.

Une partie assez considérable des tranchées sont dans l'argile ou dans des terrains de roche fort dure.

Parmi ces tranchées, on distingue celles de Maurevert, Chalmaison, Chamarande, Jessains, etc.

Comme souterrains, nous citerons ceux de Culmont, long de 1,520 mètres, Torcenay, Grattery, Genevreuille et la Chalière.

Ce dernier est un des plus importants : il a 1,100 mètres de longueur.

On trouve sur le chemin de Mulhouse un des plus beaux ouvrages d'art qui aient été exécutés en France sur un chemin de fer, le grand pont de Nogent-sur-Marne et les viaducs aux abords. Nous décrivons plus loin cet ouvrage remarquable, dont les projets ont été rédigés par MM. Vuigner, ingénieur en chef ; Collet-Meygret, ingénieur principal, et Pluyette, ingénieur ordinaire, et qui a été exécuté, sous la direction immédiate de M. Pluyette, par M. Duplaquet, chef du service des entrepreneurs MM. Parent et Shacken. Outre ces viaducs, on en rencontre quelques autres qui ne sont pas moins dignes d'intérêt. Tels le viaduc de la Voulzie, près Provins ; celui de Chaumont, et le viaduc de la Largue, entre Belfort et Mulhouse. Les fondations du viaduc de la Voulzie, s'enfonçant de 15 mètres dans la tourbe, ont présenté d'immenses difficultés qui ont été surmontées, avec autant de talent que de bonheur, par M. l'ingénieur Siben, sous la direction de MM. Vuigner et Collet-Meygret. Ce viaduc est remarquable aussi par la légèreté de ses arches et par l'économie apportée dans chacun des détails de la construction. Le viaduc de Chaumont, long de 600 mètres et haut de 50 mètres au maximum, cube près de 60,000 mètres. Ce magnifique travail, qui fait le plus grand honneur à M. l'ingénieur en chef Zeiller, et à M. l'ingénieur ordinaire Decomble, a été construit en moins d'une année. Le mérite de l'exécution est partagé par les ingénieurs avec le chef de service de l'entrepreneur M. Gourdin.

Le viaduc de la Largue, moins important que les précédents, est entièrement en briques, et réunit une grande solidité à une grande

élégance. Ce n'est que justice de nommer l'ingénieur ordinaire, M. Daigremont; l'ingénieur principal, M. Fleur-Saint-Denis, et l'ingénieur en chef, M. Vuigner.

Nous avons publié dans le *Portefeuille de l'Ingénieur* les plans, coupes et élévation de ces différents viaducs, et décrit l'organisation des chantiers établis pour la construction du pont de Nogent et du viaduc de Chaumont.

La plupart des stations du chemin de Mulhouse sont remarquables par leur bonne disposition et par leur élégance. Elles sont l'œuvre de M. Bellanger, architecte de la Compagnie.

Chemin de Paris à Saint-Germain et de Paris à Auteuil. — Le chemin de fer de Saint-Germain, construit par MM. Lamé, Clapeyron et Stéphane Mony, à une époque où les machines locomotives étaient loin d'avoir atteint leur état de perfection actuel, a été établi à grands frais avec des pentes qui ne dépassent pas 1 millimètre, et des courbes dont le rayon ne descend pas au-dessous de 2,000 mètres.

Les courbes étant de niveau, tandis que les alignements ont 1 millimètre de pente, les ingénieurs avaient calculé que l'effort de traction nécessaire pour gravir les pentes en ligne droite était égal à celui qu'exigeait le parcours des courbes de 2,000 mètres de rayon et de niveau, en sorte que l'effort des locomotives serait le même sur les rampes ou dans les parties de niveau.

On aurait évité de grandes dépenses de construction sans augmenter sensiblement les frais d'exploitation en admettant des pentes plus fortes et en réduisant le rayon des courbes.

Le chemin de fer de Saint-Germain devait, dans l'origine, s'étendre jusqu'à la Madeleine. On a sagement renoncé à ce projet, et la gare d'arrivée s'est trouvée définitivement placée rue Saint-Lazare, où elle dessert en même temps les chemins de Versailles (rive droite), d'Auteuil, de Rouen et de l'Ouest.

En revanche, le railway, qui, pendant longtemps, s'est arrêté au Pecq, au bas de la colline de Saint-Germain, a été prolongé jusqu'à l'entrée de la forêt au moyen d'un plan incliné que pendant longtemps on a remonté à l'aide du système atmosphérique, remplacé aujourd'hui par de puissantes locomotives.

Les travaux de ce plan incliné ont été étudiés et conduits avec une rare habileté par M. Eugène Flachet, ingénieur civil, l'un des auteurs du projet primitif du chemin de Saint-Germain.

La Compagnie de Saint-Germain a construit enfin un embranchement de 4,200 mètres de longueur entre Asnières et Argenteuil, et, le 2 mai 1854, elle a inauguré le chemin d'Auteuil¹. Par les conditions spéciales de son établissement et de son exploitation, avec une circulation qui atteignait déjà 8,000 personnes par jour pendant le premier mois de son ouverture, et qui s'élevait au chiffre énorme de 20,150 voyageurs le premier dimanche de sa mise en exploitation, cette dernière ligne offre, sans contredit, le plus curieux exemple de chemin de banlieue qu'il soit possible de rencontrer. Les renseignements suivants, que nous devons à l'obligeance de MM. les ingénieurs de Saint-Germain, feront bien comprendre les sujétions imposées à cet embranchement et les procédés élégants adoptés pour son exécution.

L'embranchement sur Auteuil se détache du chemin de fer de Saint-Germain à la sortie du souterrain des Batignolles, à 1,100 mètres environ de l'origine du chemin de fer. Son tracé est compris, comme celui du chemin de fer de ceinture, entre l'ancien mur d'octroi et l'enceinte fortifiée; il traverse la plaine de Courcelles, à peu près à égale distance de ces deux murs; il suit cette direction dans le village des Thernes, en appuyant un peu sur la droite, et arrive au pied des fortifications, à l'avenue de Neuilly (route n° 15); au delà de cette avenue, il prend un peu sur la route militaire, qu'il suit régulièrement jusqu'à l'avenue Dauphine.

Le tracé s'éloigne alors des fortifications pour éviter le parc de la Muette; il traverse l'avenue de Saint-Cloud (route départementale n° 46), au point où la rue de la Tour vient y déboucher, passe derrière la grande Muette, et arrive sur le quinconce de Passy après avoir traversé la petite Muette. Il suit, au delà, la ligne des maisons qui bordent le quinconce, et vient retrouver la route stratégique, qu'il laisse à sa droite, pour entrer dans le parc de Montmo-

¹ La description de ce chemin, construit par M. Eugène Flachet, est extraite des *Annales des ponts et chaussées* (mai et juin 1854).

renéy, à l'extrémité duquel se trouve la station d'Auteuil sur la route départementale n° 29, de Paris à Boulogne.

Une condition expresse de la concession a été de passer sous toutes les routes que rencontre le tracé; le profil, pour satisfaire à cette condition et avoir le moins de déblais possible, a dû être accidenté. En quittant la ligne de Saint-Germain, il descend par une pente de 0^m,005, et passe à Batignolles sous les rues d'Orléans, Cardinet, de la Gare, de la Santé, sous la route départementale n° 55, de Paris à Asnières; puis il traverse en palier sous les rues de Courcelles, Lombard, de la Chaumière et de l'Arcade; il passe sous la rue de Villiers avec une pente de 0^m,005, et remonte ensuite par une pente de 0^m,009, jusqu'au delà de la route impériale n° 42 (vieille route de Neuilly), et, après avoir coupé les terrains non bâtis de Ferdinanville, entre sous la route impériale n° 45 (avenue de Neuilly), dans un souterrain de 140 mètres de longueur, sur lequel est ouverte aussi l'avenue de Saint-Denis (route départementale n° 9). Après une rampe de 0^m,001 jusqu'à l'avenue Dauphine, on reprend une rampe de 0^m,0088 sous l'avenue de Saint-Cloud, et on arrive à Passy par un palier, sous la chaussée de la Muette (route départementale n° 2). On se retrouve alors, pour la première fois, hors du sol, sur le quinconce de Passy, que l'on suit par un remblai de 1 mètre au maximum, toujours en palier. A l'extrémité du quinconce, commence une pente de 0^m,004 pour descendre sur Auteuil; les déblais recommencent jusqu'à l'extrémité du parc, et on arrive à la station d'Auteuil, sur le chemin de Boulogne (route départementale n° 29), par un remblai de 4^m,50 de hauteur.

Tous ces passages en dessous ont été faits sur le même type, quelle que soit la largeur que le décret ait imposée aux différents passages.

Dans les passages trop biais pour faire des poutres d'une seule portée, parce que l'épaisseur du tablier ne permettait pas d'augmenter la hauteur des poutres, on a dû mettre dans l'entre-voie des colonnes en fonte qui ont divisé la poutre en deux. Dans ce cas, l'espace entre les culées a été porté de 7 mètres à 7^m,60, pour laisser le rail toujours à la même distance des supports. Toutes les dimen-

sions des fontes ont été calculées pour ne pas travailler à un effort de plus de 3 kilogrammes par millimètre carré de section.

Le tracé passe ainsi sous quinze voies de communication. Les onze premières, qui sont des voies communales, sauf la route d'Asnières, ont de 8 à 9 mètres de largeur; la route d'Asnières en a 12. L'avenue des Thernes a 35 mètres de largeur; l'avenue de Neuilly, 144; l'avenue Dauphine, 185; l'avenue de Saint-Cloud, 56, et l'avenue de la Muette, 120.

Un point assez intéressant a été le passage du chemin de fer sous une maison à deux étages, située sur le quinconce de Passy. Cette maison était construite sur la masse à enlever. On a posé des chevalements qui permettaient le passage de la tranchée nécessaire pour la construction des murs de soutènement; les murs construits, on a posé des poutres en tôle au lieu de poutres en fonte, avec des sommiers et des voûtes en briques; enfin, sur ces poutres, on a placé d'autres poutres en tôle sous les murs de la maison; malgré le peu de solidité de la construction de cette dernière, le travail s'est fait sans mouvement apparent dans les plâtres.

La disposition des stations a été faite sur un même type. Sauf celle d'Auteuil, elles sont toutes placées au-dessus du chemin de fer et forment une continuation des souterrains, dont la longueur imposée à la Compagnie était beaucoup plus que suffisante pour le passage des routes. Elles se composent d'une salle d'attente avec un bureau de distribution, et d'un grand corridor conduisant aux escaliers qui mènent aux quais.

Les quais ont une hauteur de 1 mètre, et sont recouverts par une toiture métallique portée sur des colonnes et sur les murs.

Les colonnes sont placées sur le quai, à 2 mètres des bords; elles portent des chéneaux qui forment entablement; sur ces chéneaux viennent s'ajuster, du côté de la voie, un arc en tôle ondulée, qui va d'un quai à l'autre, et, du côté du mur, une petite ferme en fonte qui supporte une vitrine. Dans la tôle ondulée, les jours sont pris par des arcs en fer à vitres, qui s'assemblent aux tôles.

Dans deux stations, cette disposition a été simplifiée, et les chéneaux portent directement sur les murs; l'arc en tôle ondulée couvre alors toute la station.

L'embranchement d'Auteuil, sur ses 8 kilomètres de parcours, dessert six stations à la rencontre des principales voies de communication.

L'exploitation du chemin de fer d'Auteuil a nécessité la création d'un matériel supplémentaire de celui de la Compagnie de Paris à Saint-Germain.

Pour satisfaire à l'exigence d'un parcours rapide malgré l'extrême rapprochement des stations, les locomotives devaient pouvoir démarrer et s'arrêter beaucoup plus vite qu'on ne le fait sur les grandes lignes. Les dispositions arrêtées par M. Charles Rhoné, ancien élève de l'École centrale, atteignent parfaitement le but proposé, et méritent de fixer l'attention des ingénieurs et des constructeurs. Nous les décrirons au chapitre des locomotives.

Chemin de Dublin à Kingstown¹. — Le point de départ du chemin de fer de Dublin à Kingstown est situé dans l'intérieur même de la ville de Dublin, à 20 pieds au-dessus du sol, dans une rue appelée *Westland-Row*.

Ce chemin traverse les rues étroites sur des ponts élégants d'une seule arche et les rues les plus larges sur des ponts composés de trois arches ; une petite au-dessus de chaque trottoir et une grande au-dessus de la chaussée.

L'espace d'une rue à l'autre est occupé par des remblais de sable, gravier, etc., compris entre de grands murs en pierre calcaire provenant des carrières de Donybrook.

La largeur du railway, du point de départ à *Westland-Row* jusqu'au quai de Dublin, est de 48 mètres entre les parapets, et est calculée pour permettre la pose de quatre voies.

De ces quatre voies, les deux du milieu sont destinées aux voyageurs allant dans un sens ou dans l'autre, et les deux voies extrêmes sont consacrées au transport des marchandises.

Cette disposition permet d'opérer le chargement et le déchargement des marchandises avec la plus grande facilité, sans gêner en aucune manière le service des voyageurs.

Arrivé au quai des docks, on trouve le chemin de fer établi sur

¹ Extrait du *Journal de l'industriel et du capitaliste*.

un magnifique pont bâti en granit à trois arches, posées en partie sur ce quai, et en partie dans le dock même.

Une des arches couvre une nouvelle rue qui occupe une partie de la largeur du quai qu'on laisse subsister; sous la troisième passent les bateaux naviguant le long des murs des docks.

Au delà des docks, la largeur du chemin de fer diminue, et les quatre voies se réduisent à deux, dont l'écartement toutefois est encore de 2^m,50 environ, ce qui est considérable.

Les remblais s'abaissent; on rencontre encore plusieurs ponts servant à passer au-dessus des routes, puis un pont sur la rivière Dodder, et enfin le chemin de fer se trouve au niveau du sol. C'est dans cet endroit, où le chemin rencontre la surface du sol, que l'on a établi les ateliers de construction et de réparation des machines.

De ce point jusqu'aux rivages de la mer, le chemin de fer, établi en plaine, est bordé par de larges fossés, dont le but n'est pas seulement de donner écoulement aux eaux qui pourraient le dégrader, mais encore de le protéger contre les irruptions du bétail. Il traverse plusieurs routes de niveau, entre des barrières confiées aux soins de gardes spéciaux.

A Old-Merrion, le spectacle change: au moment du flux, on découvre tout à coup une immense jetée baignée par les eaux de la mer. C'est le chemin lui-même, qui, construit sur cette jetée, plonge pour ainsi dire dans la mer, et sur lequel on voit par moments apparaître subitement et disparaître avec la rapidité de l'éclair des machines locomotives qui semblent glisser à la surface de l'eau.

Si l'on est frappé d'admiration devant ce magnifique travail, on éprouve aussi un sentiment de satisfaction en voyant la mer déposer tranquillement des amas de sable qui protègent le talus contre l'action des vagues, à laquelle on prétendait qu'il ne pourrait pas résister.

Aux basses eaux, la jetée, percée d'arches nombreuses donnant passage à l'eau qui alimente plusieurs établissements de bains, n'est plus qu'un simple viaduc établi sur le rivage.

Le railway n'a pas seul trouvé place sur cette digue colossale. Une promenade, délicieuse pendant les soirées d'été, a été ménagée parallèlement au chemin de fer.

A Booters-Town, on a établi une jetée perpendiculaire à celle que nous venons de décrire, pour communiquer avec la côte, et on a de cette manière rendu à l'agriculture une étendue de terrain qui n'a pas moins de 50 acres.

A Black-Rock, où se termine la grande jetée, la Compagnie du chemin de fer elle-même a fait construire un superbe établissement de bains.

De Black-Rock à Kingstown, le chemin de fer est établi sur une chaussée à mi-côte, remarquable par la hauteur des murs qui la protègent contre les éboulements du côté de la terre; puis il traverse la délicieuse propriété de lord Cloncurry, pénètre sous terre par une galerie suivie d'une tranchée profonde de 12 mètres, et enfin arrive à Kingstown, après avoir sauté de rocher en rocher.

A Kingstown, il traverse l'ancien port de Dunleary, dont une partie a été comblée.

Il passe ensuite entre la tour de Martello et la batterie opposée à Crofton-Terrace, dans une profonde tranchée.

De la batterie aux dépôts de l'amirauté, le chemin côtoie le port au travers de chantiers où se rencontrent les bois du Canada et ceux de la Norvège.

Le chemin passe enfin derrière les dépôts de l'Amirauté et se termine par une gare vis-à-vis la cour des Commissaires (Commissioners' yard).

De Dunleary jusqu'à ce point extrême, le chemin de fer marche parallèlement à une route dont il est séparé par une grille de fer.

Le chemin de Dublin à Kingstown a été établi, comme une partie des chemins de fer de construction ancienne, sur des dés qui ont 0^m,60 de côté, éloignés de 0^m,90 d'axe en axe, suivant la longueur du chemin.

Ces dés sont en granit, et, de 4^m,60 en 4^m,60, c'est-à-dire aux extrémités de chaque rail, on a placé un dé qui traverse la voie, de manière à relier les bandes de fer placées de l'un et de l'autre côté du chemin.

Nous ne connaissons pas la longueur exacte de ce chemin: elle doit être d'environ 10 à 12 kilomètres seulement.

Chemin de Londres à Birmingham. — George Stephenson ve-

nait de terminer le chemin de Liverpool à Manchester, lorsque son fils Robert entreprit celui de Londres à Birmingham.

Ce chemin est un des plus importants de l'Angleterre, puisque c'est la grande route de Londres vers le Nord ; c'est aussi un des chemins établis avec le plus de soin.

Construit à une époque où les machines locomotives en usage étaient faibles comparativement à celles que l'on emploie aujourd'hui, et où d'ailleurs on sacrifiait assez volontiers la question financière à la question d'art, le chemin de Londres à Birmingham a été établi à grands frais dans le système des plus faibles pentes.

Il est vrai que, à la sortie de Londres, les voyageurs sont obligés de remonter une rampe dont l'inclinaison, variant de 4 1/2 centième à 7 millièmes, est, en moyenne, de 4 centième ; mais, du sommet de cette rampe jusqu'à Birmingham, les pentes ne dépassent pas 3 millimètres par mètre, et le rayon des courbes ne descend que dans un seul cas, par exception, à 540 mètres.

Le plan incliné à la sortie de Londres a été longtemps desservi par deux puissantes machines fixes. Si l'on se servait alors de machines fixes, ce n'était pas que l'on considérât la rampe comme impraticable pour les locomotives, mais le mode d'exploitation par locomotives paraissait peu avantageux, parce que, le plan incliné se trouvant à la sortie de la station, les locomotives n'avaient pas le temps d'acquérir une vitesse suffisante au moment où elles atteignaient le pied de la rampe, et qu'ainsi la vitesse avec laquelle elles pouvaient remonter les convois était généralement plus faible que celle que produisaient les machines fixes. D'ailleurs, comme les locomotives ne peuvent développer leur force qu'en vertu de l'adhérence de leurs roues motrices sur les rails, on craignait que, comme les brouillards de la Tamise rendent les rails constamment humides, deux locomotives, telles qu'on les construisait alors, ne fussent insuffisantes pour remorquer un convoi de huit voitures.

Aujourd'hui que l'on emploie des locomotives plus puissantes, on a entièrement renoncé au service des machines fixes.

Les travaux de terrassement exécutés pour l'établissement du chemin de Londres à Birmingham sont immenses.

Parmi plusieurs tranchées considérables ouvertes sur cette ligne, on distingue la tranchée du Tring, qui a 4,000 mètres environ de longueur, et 17 mètres de profondeur sur près de 400 mètres. Le cube des terres extraites de cette immense tranchée n'est pas moindre de 1,100,000 mètres. Une partie de ces terres, déposées en cavaliers sur les bords de l'excavation, a été élevée à la surface par des procédés que nous décrirons plus loin.

La tranchée de Blisworth, la plus importante du chemin de Londres à Birmingham après celle de Tring, cube 700,000 mètres. On a rencontré, dans l'exécution de ce travail, de grandes difficultés; la partie supérieure, composée de roc dur, a été enlevée à la poudre. Sous ce rocher se trouvait une couche d'argile coulante; on n'a pu soutenir les talus dans cette argile qu'au moyen de murs très-dispendieux réunis dans le bas par un radier.

Dans d'autres tranchées, il s'est manifesté des éboulements que l'on a eu grand'peine à contenir.

Le volume de certains remblais du chemin de Londres à Birmingham, sans atteindre celui des tranchées, n'en est pas moins considérable. Le remblai de Wolverton, cubant environ 400,000 mètres, élevé sur un terrain marécageux, n'a cessé de s'affaisser que lorsqu'en élargissant sa base on est parvenu à en diminuer suffisamment la pression sur le sol.

Le viaduc de Wolverton, composé de six arches surbaissées en briques, a 200 mètres de longueur.

A Birmingham et sur plusieurs points de la ligne, on trouve d'autres viaducs en briques également importants.

Middland-Counties-Railway. — Le Middland-Counties-Railway, réunissant le chemin de Londres à Birmingham au North-Middland, se détache du premier à la station de Rugby et se soude au North-Middland à Derby. Il passe à Nottingham et Leicester. C'est en 1836 que la Compagnie concessionnaire a obtenu l'autorisation de le construire. Il a été ouvert dans toute sa longueur en mai 1840.

Les plus fortes pentes y sont de 5 millièmes. Les courbes y sont toutes de grand rayon.

Le cube moyen des terrassements, sur ce chemin, est de 45,600 mètres cubes par kilomètre.

Le nombre des ponts en dessus ou en dessous est de 148. Les souterrains sont au nombre de 5, dont la longueur totale n'est que de 285 mètres.

Greath-North-Railway. — Ce chemin, long de 75^k,625, a été concédé en 1856, avec un grand nombre d'autres. Il s'étend de York à Newcastle et se relie au North-Middland par un embranchement. On n'y trouve pas de pentes dépassant 2 1/2 millimètres. Son tracé est presque entièrement en ligne droite.

Le cube des terrassements n'est que de 15,290 mètres cubes par kilomètre; le nombre des ponts en dessus ou en dessous est de 42.

North-Middland-Railway. — Le North-Middland-Railway, ainsi qu'on peut le voir sur la carte, constitue, avec le Middland-Counties-Railway et une grande partie du chemin de Londres à Birmingham, une des grandes lignes qui s'étendent du sud au nord de l'Angleterre, de Londres à Newcastle; sa longueur est de 117 kilomètres.

Toutes les courbes, sur ce chemin, ont 1,600 mètres au moins de rayon, et les pentes n'y dépassent pas 4 millimètres. Si donc on se reporte à la description que nous avons donnée du tracé du chemin de Londres à Birmingham et du Middland-Counties-Railway, on remarquera que, nulle part, sur le chemin de Londres à Newcastle, par Rugby, exception faite d'une très-petite partie du parcours, les pentes ne dépassent 4 millièmes et que le rayon des courbes excède généralement 1,500 mètres. Il en est de même sur le grand chemin transversal de Douvres à Bristol, tandis que les lignes de Liverpool à Hull et de Newcastle à Carlisle ont été tracées, au contraire, avec des pentes d'environ 1 centième et des courbes de moindre rayon.

Les travaux de terrassement du North-Middland-Railway, s'élevant à 62,000 mètres cubes par kilomètre, sont considérables.

Les plus importants sont la tranchée de Wakechan, dont le cube est de 460,000 mètres, et celle de Normanthon, cubant 582,000 mètres. Les souterrains sont au nombre de 7, longs de 5,500 mètres. le plus considérable a 556 mètres.

On trouve sur le North-Middland-Counties-Railway 155 ponts

ou viaducs, parmi lesquels on distingue le grand viaduc de Calder, composé d'une arche de 27 mètres d'ouverture, et de cinq autres de 18 mètres.

Le North-Middland-Railway est le plus remarquable de l'Angleterre, avec le Great-Western ou le chemin de Bristol, pour le luxe des stations.

La grande station de Derby, où se croisent trois chemins de fer, et dans laquelle on a concentré le service des voyageurs, des marchandises et des ateliers, est une des plus intéressantes à étudier. Elle a été décrite dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

Les autres stations ont été construites dans un style d'architecture élégant et varié.

Chemin de Londres à Bristol. — Le chemin de Londres à Bristol, désigné en Angleterre par le nom de Grand-Occident (Great-Western-Railway), n'est pas seulement l'un des plus importants de la Grande-Bretagne comme l'une des lignes les plus commerciales de ce pays, il est encore, au point de vue technique, l'un des plus dignes d'étude.

Tout, sur ce chemin, construit par Brunel fils, porte un cachet d'originalité. Le tracé en est remarquable; la voie, le matériel, les stations, présentent des dispositions qui fixent l'attention des ingénieurs.

La pensée qui a présidé au choix du tracé est la même que celle qui a guidé dans l'étude du chemin de Londres à Birmingham, construit vers la même époque. On n'a épargné ni soins ni dépenses pour réduire autant que possible l'inclinaison des rampes et pour agrandir le rayon des courbes.

De Londres à l'embranchement d'Oxford, partie de la ligne la plus fréquentée, les pentes, sur une grande longueur, n'excèdent pas 7 dixièmes de millimètre. Puis, jusqu'au plateau le plus élevé, à Swindon, le chemin continue à s'élever graduellement, sans aucune ondulation, avec une inclinaison de 11 dixièmes de millimètre. De ce point culminant, enfin, le chemin redescend vers Bristol.

Sur cette partie de la ligne, la configuration du terrain a nécessité des pentes supérieures à celles qui précèdent: mais l'ingénieur

les a concentrées sur un espace comparativement court en adoptant des rampes opposées inclinées chacune de $9 \frac{1}{2}$ millièmes, l'une ayant 1,200 mètres de longueur, l'autre 4,000 mètres. Les pentes intermédiaires ne dépassent nulle part $2^{\text{mm}},9$. C'est sur la dernière rampe de $9 \frac{1}{2}$ millièmes que se trouve le souterrain de Box, qui est le seul passage difficile de toute la ligne.

Le rayon des courbes est plus grand que sur tout autre chemin de fer, puisqu'il est généralement de 6,400 à 11,000 mètres.

Parmi les travaux remarquables exécutés sur le chemin de Bristol, il faut nommer le pont sur la Tamise, à Maidenhead ; c'est le travail le plus hardi qui ait été exécuté en petits matériaux.

Il se compose de deux grandes arches elliptiques ayant chacune 28 mètres 90 centimètres d'ouverture, c'est-à-dire 60 centimètres seulement de moins que le nouveau pont de Londres, construit en granit et l'un des plus beaux ponts en pierre que l'on connaisse.

La largeur de la voie, sur le chemin de Londres à Bristol, est presque le double de celle de la plupart des grandes lignes d'Angleterre (7 pieds au lieu de 4 pieds 8 pouces). M. Brunel, en élargissant ainsi la voie, s'est proposé principalement de faciliter l'emploi de machines de plus grandes dimensions, capables de trainer de plus lourdes charges à de plus grandes vitesses. Nous verrons plus loin jusqu'à quel point cette modification est heureuse.

Ce n'est pas seulement par les dimensions que la voie du chemin de Bristol diffère des autres chemins de fer, elle offre aussi un mode de construction qui lui est particulier.

Sur la plupart des autres chemins, les rails sont en fer plein, et ils sont fixés par des pièces en fonte nommées coussinets à des traversines en bois qui servent de fondation à la voie ; sur le chemin de Bristol, les rails sont, au contraire, en fer creux, cloués à des solives en bois qui en deviennent pour ainsi dire parties intégrantes, et ces rails en bois et fer sont fixés sans intermédiaire aux traversines qui reposent sur la chaussée. Le chemin ainsi construit est plus élastique, et, par suite, le mouvement des machines et des voitures y est plus doux.

Dans l'origine, une partie des traverses étaient fixées au sol au moyen de pieux faisant office de pilotis ; mais on a, depuis lors,

supprimé ces pieux, entre lesquels la voie, fléchissant outre mesure, finissait par se courber.

Les machines locomotives et les voitures du chemin de Bristol, aussi bien que la voie, ne sont pas seulement intéressantes par leurs dimensions exceptionnelles, elles présentent des dispositions particulières. Nous nous réservons d'en parler dans les autres volumes de cet ouvrage.

Plusieurs des stations, celle de Windsor, par exemple, ont cela de remarquable que, par suite d'une combinaison des voies que nous décrirons plus loin, le départ et l'arrivée ont lieu du même côté, tandis que sur les autres chemins, ainsi que chacun le sait, on part d'un côté et on arrive de l'autre.

Le chemin de Bristol a coûté excessivement cher, puisque le prix du kilomètre s'élève à 886,000 fr.; mais les produits se sont heureusement trouvés en rapport avec la dépense.

Chemins de Versailles. — Des deux chemins de Paris à Versailles, celui de la rive gauche, plus particulièrement, offre une preuve frappante de la nécessité de ne pas sacrifier dans l'étude des chemins de fer toute considération financière aux considérations techniques.

Tout le monde conviendra aujourd'hui qu'aucun des deux tracés admis pour ces deux chemins n'était le meilleur.

On avait proposé un troisième tracé bien préférable. Ce tracé, partant de l'extrémité du Cours-la-Reine, passait sous la montagne de Chaillot par un souterrain de 940 mètres, traversait la plaine de Passy et le bois de Boulogne, franchissait la Seine sur un pont à 15^m,28 au-dessus de l'étiage, puis se développait sur les coteaux de la rive gauche, passait derrière les villages de Suresnes et de Puteaux, entrait dans le parc de Saint-Cloud et suivait jusqu'à Versailles une direction à peu près semblable à celle que suit celui de la rive droite.

Les résultats de l'enquête avaient été favorables à ce projet, mais il a été rejeté par l'administration des ponts et chaussées à cause de la grandeur des pentes, qui étaient, sur une partie du parcours, de 8 1/2 millimètres.

Cette pente était cependant parfaitement admissible, même en

supposant l'emploi de machines médiocrement puissantes, pour ce chemin, sur lequel les convois de voyageurs ne marchent avec charge complète que les jours de fête, et, comme nous l'avons déjà fait observer, elle n'était nullement dangereuse. Elle est plus faible que la pente adoptée sur le tronçon commun aux chemins de Londres à Douvres et de Londres à Brighton. Ce chemin central n'eût pas coûté plus cher que chacun des chemins de Versailles (rive droite et rive gauche), il eût été plus court, son point d'arrivée dans Paris eût été infiniment mieux placé. Il eût desservi Saint-Cloud et une partie des villages auxquels aboutissent les chemins actuels, enfin il eût donné lieu à une excellente spéculation, tandis que les chemins actuels ont été peu avantageux à leurs actionnaires. Mais revenons au chemin de Versailles (rive gauche).

Ce chemin devait partir, dès l'origine, d'un point situé dans l'intérieur de Paris; soit rue d'Assas, soit au carrefour de la Croix-Rouge, soit à la place Saint-Sulpice; mais la Compagnie adjudicataire, effrayée du surcroît des dépenses, crut devoir s'arrêter provisoirement au dehors de la barrière, sur la chaussée du Maine.

De ce point, le chemin s'élève, par une rampe uniforme de $\frac{1}{4}$ millimètres, jusqu'aux portes de Versailles, et il entre dans cette ville par une rampe de 955 mètres de longueur et de 1 centimètre d'inclinaison. On a été obligé, pour maintenir l'inclinaison de $\frac{1}{4}$ millimètres prescrite par les cahiers des charges, d'exécuter des travaux immenses de terrassement, et d'élever un grand viaduc sur un mauvais sol. On eût évité une partie de ces travaux et économisé plusieurs millions en augmentant cette rampe; mais l'administration s'est montrée d'une rigueur extrême à l'égard de la Compagnie en lui refusant un accroissement de 1 dixième de millimètre seulement!!!... Puis, lorsque plus tard les travaux ont été suspendus par défaut de capitaux, elle a passé d'une sévérité exagérée à une indulgence excessive, en accordant à la Compagnie, non-seulement l'établissement d'une rampe de 1 centième à l'entrée de Versailles, ce qui était sans inconvénient, mais encore en autorisant la substitution de passages de niveau à des ponts, sur certains points où ces passages, placés à l'extrémité de courbes en tranchée, sont fort dangereux, et en permettant l'ouverture d'un chemin inachevé,

et, par suite, très-impairfait. Les travaux de terrassement sur cette ligne ont été considérables, puisque le cube moyen des terrassements par kilomètre s'est élevé à 72,000 mètres, atteignant ainsi le chiffre des terrassements sur le chemin de Bristol.

Le principal travail d'art du chemin de Versailles (rive gauche) est le grand viaduc du Val-Fleury, étudié par M. Payen, inspecteur général des ponts et chaussées. Nous donnerons plus loin la description de ce viaduc.

On remarque aussi sur ce chemin les moyens employés pour consolider les talus de plusieurs tranchées ouvertes dans le sable glaiseux et ceux des remblais voisins.

Le chemin de fer de Versailles (rive gauche), devenu l'une des têtes du chemin de l'Ouest, a été prolongé jusqu'au boulevard Montparnasse.

Chemin de fer du Nord en Autriche.— Ce chemin, dont les études remontent à 1850, a été concédé en 1856 à la maison Rothschild. Commencant au Prater, à Vienne, il franchit le Danube au moyen de deux ponts sur palées en bois. Le tracé a présenté peu de difficultés, si ce n'est sur l'embranchement de Brünn, où il a fallu mettre la voie à l'abri des inondations et franchir quelques vallées transversales sur des viaducs d'une grande longueur. Ses pentes sont très-favorables et ne dépassent pas 5^{mm},5 par mètre, même au passage de la ligne de faite qui sépare le bassin du Danube de celui de l'Oder; mais on y rencontre des courbes de 570 mètres de rayon.

Chemin de fer de Vienne à Gloggnitz.— Le chemin de Vienne à Gloggnitz fut concédé à M. le baron de Sina en 1856, à peu près à la même époque que le chemin du Nord à M. le baron de Rothschild. Il fait partie de la grande ligne de Vienne à Trieste, qui servira d'intermédiaire pour toutes les relations de l'Allemagne avec la Méditerranée.

Sur une longueur de 18^k,40, qui représente à peu près le quart du parcours total, les pentes de ce chemin atteignent de 6^{mm},6 à 7^{mm},7; le rayon minimum des courbes est de 1,600 mètres.

Les ouvrages les plus remarquables du chemin de Gloggnitz sont le viaduc de Baden, de trentes arches; un pont en bois dans le sys-

tème américain, d'une portée de 57^m,95, et le passage du cours d'eau qui alimente le moulin de Perchtolsdorf au moyen d'un siphon en fonte.

Il faut aussi indiquer comme méritant une attention particulière les différentes gares de ce chemin, notamment celle de Vienne, décrite dans le *Portefeuille de l'Ingénieur* sous le nom de *Gare du chemin de fer de Vienne à Raab*.

Chemin de fer de Munich à Augsbourg.— Ce chemin, établi à une seule voie, comme le précédent, avec terrassements et ouvrages d'art pour deux voies, ne présente dans son tracé aucune particularité digne d'être citée. Les pentes sont très-faibles, les courbes de grand rayon.

Il n'y a de remarquable sur ce chemin que les travaux exécutés pour la traversée des marais aux abords de Hattenhofer. Renonçant à assurer la résistance du terrain dans ces marais, soit par le battage d'une forêt de pieux d'une longueur de 12 à 15 mètres, ce qui eût considérablement augmenté la dépense, soit par l'emploi de fascines d'un prix également élevé et laissant craindre, pour le moment où elles viendraient à pourrir, des tassements considérables, le directeur des travaux fit au préalable assainir autant que possible, par des fossés d'écoulement, les parties de marais traversées; puis on pratiqua en échiquier, et avec espacement de 0^m,876, des trous carrés de 1^m,168 de profondeur, ayant au bas 0^m,582 de côté, au haut 0^m,876. Ces trous furent remplis de terre grasse imperméable à l'eau.

La disposition inclinée des faces des trous ayant pour effet de comprimer la terre tourbeuse du marais, on put effectuer sur cette masse rendue homogène des remblais avec un tel succès, que, depuis la mise en exploitation du chemin, aucun tassement n'a eu lieu.

Chemin badois. — Nous empruntons à M. le Châtelier la description de ce chemin.

Long de 279 kilomètres, il sillonne le grand duché de Bade dans toute sa longueur, depuis Manheim jusqu'à Lorrach, à la frontière de Suisse, près de la ville de Bâle, court du sud au nord au pied des montagnes de la forêt Noire, et atteint tous les centres de popula-

tion de quelque importance situés à leur base. Arrivé à Heidelberg, il se rejette, par un rebroussement de l'est à l'ouest, vers Manheim, parallèlement au cours du Neckar. Un embranchement de 15^k,5 le relie à la tête du pont de Kehl; un second embranchement, partant de la station d'Oos, atteint Baden-Baden depuis le commencement du mois d'août 1845. Ce chemin de fer fait concurrence au chemin de Strasbourg à Bâle pour le transit des voyageurs entre l'Allemagne et la Suisse. On s'occupe de le faire arriver jusqu'aux portes de la ville de Bâle, et même de le prolonger jusqu'à Schaffouse. Il est exécuté et exploité par l'État, en vertu d'une loi en date du 29 mars 1838; les tracés ont été commencés le 1^{er} septembre de la même année, et les diverses sections ont été livrées à la circulation, de Manheim à Heidelberg, le 11 septembre 1840; d'Heidelberg à Carlsruhe, le 15 avril 1843; de Carlsruhe à Offenbourg et Kehl, le 1^{er} juin 1844; d'Offenbourg à Freyburg, en août 1845, sur une longueur totale de 220^k,5.

Les travaux d'art et les terrassements ont été exécutés pour deux voies; mais jusqu'en 1845 on n'en avait posé qu'une seule. C'est en 1845 seulement que les Chambres ont voté les crédits nécessaires pour la pose de la seconde voie.

Le tracé présentait, comme pour le chemin d'Alsace, les plus grandes facilités; cependant on l'a tourmenté sur plusieurs points pour atteindre, conformément au programme dressé par les Chambres, toutes les villes voisines de sa direction. Néanmoins il est de niveau sur 58 centièmes, et il ne présente de pentes supérieures à 4 millimètres par mètres (de 4 à 5^{mm},5) que sur 6 centièmes de sa longueur totale. Pour obéir servilement aux conditions du programme et par une raison d'économie mal entendue, sur un terrain aussi peu accidenté, on a fait descendre au-dessous de 400 mètres et jusqu'à 180 mètres le rayon de quelques courbes. Bien que ces courbes de petit rayon soient pour la plupart voisines des stations où tous les trains s'arrêtent, elles exercent une influence d'autant plus fâcheuse sur l'exploitation, qu'on a fait choix du matériel anglais sans l'approprier à un pareil service. Ce chemin est le seul en Allemagne, parmi les grandes lignes, pour lequel on ait adopté une largeur de voie supérieure à 1^m,455; mais

on n'est entré que timidement dans ce système d'innovation en restreignant l'écartement à 1^m,60. Par suite, sans pouvoir jouir de tous les avantages que les partisans des larges voies leur attribuent, on s'est fermé toute communication directe avec les chemins des pays voisins.

Depuis la publication de l'ouvrage de M. Lechatelier, la seconde voie du chemin badois a été posée, le chemin s'est approché de la ville de Bâle, la voie a été rétrécie, et la construction d'un pont sur le Rhin à Kehl a mis ce chemin en relation avec les chemins français.

CHEMINS A PENTES MOYENNES.

Parmi les chemins de fer qui se rangent dans cette classe, il en est un grand nombre sur lesquels les transports s'opèrent à grande vitesse; ceux-là, à l'exception des chemins anglais de Newcastle à Carlisle, et de Liverpool à Manchester, ont été tous étudiés en dehors des idées exclusives qui ont présidé au tracé des lignes de Londres à Birmingham, de Paris à Rouen, de Paris à Saint-Germain, etc. Nous commencerons par la description de celui de Rouen au Havre, l'un des plus curieux par les ouvrages importants que son établissement a nécessités.

Chemin de Rouen au Havre. — Le chemin de fer de Rouen au Havre s'embranché sur celui de Paris à Rouen, à Sotteville, près Rouen, et arrive, par une rampe de 5 millimètres sur 1,100 mètres, à un pont en charpente formé de huit arches de 40 mètres d'ouverture chacune, au moyen duquel il traverse la Seine à 12 mètres au-dessus de l'étiage. Il ne tarde pas à s'engager dans le tunnel de Bonsecours, qui, percé dans la montagne Sainte-Catherine, a 1,055 mètres de longueur et 6 mètres de hauteur sous clef. Ce tunnel présente une faible pente de 1^{mm},4 par mètre. Il se trouve, en partie, dans une courbe de 750 mètres de rayon et de 880 mètres de développement. A cette courbe en succède une autre de 925 mètres de rayon, puis, après un remblai et une tranchée assez considérables, on arrive ainsi à un second tunnel de 1,500 mètres de longueur, droit d'abord, puis en courbe de 1,600 mètres de

rayon. Il présente, sur toute sa longueur, une rampe de 5^{mm},35. Le chemin passe par ce tunnel sous les boulevards Saint-Hilaire et Beauvoisine, puis, après un court déblai, nécessité par la station de la rue Verte, il entre, avec la même rampe, dans un nouveau tunnel de 1,184 mètres, situé sous les cimetières Saint-Maur et Saint-Gervais. Il est bon de remarquer qu'en amont et en aval de la station la rampe est de 6^{mm},55 sur 300 mètres environ, afin d'en racheter une de 0,002 seulement en guise de palier au droit de la rue Verte. Au sortir du tunnel de Saint-Gervais, on se trouve en tranchée, puis en remblai, ce dernier ayant jusqu'à 18 mètres de hauteur, et l'on arrive ainsi à un quatrième tunnel, qui n'a que 365 mètres de longueur, mais qui est percé en courbe de 800 mètres de rayon et fait partie d'une rampe de 5^{mm},3, qui s'étend, au reste, sur une longueur totale de 3,420 mètres. Ici se termine la traversée de Rouen, qui est la partie du chemin où s'étaient accumulées les difficultés les plus sérieuses et qui a occasionné la plus grande dépense.

Après quoi, jusqu'à Malaunay, le tracé ne présente que des courbes de grand rayon, mais assez multipliées, et des rampes faibles, mais presque sans interruption. Néanmoins il s'en trouve une de 5 millimètres sur 1,280 mètres, à Houpeville.

Dans ce trajet d'environ 7 kilomètres, quoique le terrain ne soit pas très-accidenté, on trouve un remblai de 250,000 mètres cubes et d'une hauteur de 28 mètres. Ce travail est le plus grand terrassement que l'on rencontre jusque-là, tous ceux qui précèdent ayant environ 100,000 mètres cubes. La vallée de Malaunay, dont le sol est de 25 mètres au-dessous des rails, est traversée par un remblai et deux viaducs. Le remblai a 400 mètres de long et 25 mètres de hauteur ; son volume est de 624,000 mètres cubes. Les deux viaducs ont, l'un quatre arches, l'autre huit, de 15 mètres d'ouverture; ils sont séparés par le grand remblai; le premier est précédé, et le second est suivi d'une tranchée de 250,000 mètres cubes, de sorte qu'à elles deux elles ont pu suffire au remblayement de la vallée; ces tranchées sont l'une et l'autre en courbe de 800 mètres de rayon sur un développement, l'une de 200 mètres, l'autre de 500. A la suite de cette dernière se trouve un tunnel de 2,200 mè-

tres ; la rampe y est de 5 millimètres et s'étend au delà jusqu'à un développement total de 5,240 mètres ; puis les rampes deviennent plus faibles, et, à part un remblai de 25 mètres, mais d'un cube total de 240,000 mètres seulement, on arrive sans difficultés à Barentin.

Là se trouve un viaduc en briques, comme tous ceux de la ligne, de vingt-sept arches de 15 mètres d'ouverture chacune, de 52 mètres de hauteur, et d'une longueur totale de 500 mètres ; la rampe n'y est plus que de 1^{mm},6, et on a eu soin de ménager en amont un palier de 580 mètres. On sait que, construit une première fois avec des matériaux peu convenables, il s'écroula entièrement, causant ainsi un grand dommage et un long retard à la Compagnie.

On ne manqua pas d'attribuer cet accident à la hardiesse peu commune des proportions de ce monument. Cependant, reconstruit sur les mêmes plans, mais avec plus de précautions, il a résisté à toutes les épreuves et ne laisse pas plus à désirer sous le rapport de la solidité que sous celui du grandiose.

A l'issue du viaduc, la rampe s'élève à 5^{mm},5. Le tracé décrit en outre, sur 1,200 mètres environ, une courbe de 940 mètres de rayon ; puis une de 800 mètres dans une tranchée de 20 mètres de hauteur. Au reste, le terrain, étant ici très-accidenté, a nécessité un certain nombre de courbes successives et une alternance continuelle de remblais et de déblais de 100,000 mètres cubes environ, le tout dans le cours d'une rampe de 5 millimètres sur un développement presque continu de 11,000 mètres. En outre, il existe une courbe de 700 mètres de rayon à Mesnil-Panneville, et une de 858 mètres aux abords de la station de Motteville, à la suite de laquelle se trouve un grand palier de 1,000 mètres. De Motteville à Bolbec, le chemin est presque toujours au niveau du sol ; les courbes y sont rares et de grand rayon. Les rampes se soutiennent jusqu'à Yvetot, mais elles sont très-faibles. De ce point, on redescend par des pentes variées, dont la plus forte est de 5^{mm},5 sur 5,580 mètres ; mais la plupart ne dépassent guère 1 millième.

De Bolbec à Mirreville reparaissent les tranchées et remblais successifs de 100,000 mètres cubes environ, les courbes de 1,000

à 1,200 mètres se multiplient, et la pente s'élève à 3^{mm},3 sur 4,400 mètres de longueur. Le viaduc de Mirreville est compris dans cette pente. Il a une partie courbe de 1,000 mètres de rayon sur 340 mètres de développement. Sa longueur totale est de 530 mètres, sa hauteur de 32 mètres ; il a quarante-huit arches de 9^m,20 d'ouverture chacune ; à la suite se trouve un palier ; puis recommencent les courbes de rayon plus grandes que 1,000 mètres, les terrassements peu importants, mais très-multipliés, les faibles pentes moindres de 3^{mm},5. Mais tout à coup celles-ci s'élèvent à 8 millièmes d'abord sur 3,500 mètres jusqu'à Épretot, puis sur 8 kilomètres d'Épretot à Harfleur, où le chemin avance toujours par une succession de remblais et de tranchées dont la dernière est de 140,000 mètres cubes. Là, en amont, en guise de palier, se trouve une rampe de 1^{mm},5 sur 180 mètres seulement, et de nouveau une pente de 8 millièmes dont fait partie le premier viaduc d'Harfleur, qui n'offre rien de remarquable et est composé de cinq arches de 9 mètres d'ouverture et de 16 de hauteur et d'une longueur totale de 60 mètres. Il est uni, par un remblai de 180,000 mètres cubes, en courbe de 1,600 à 2,400 mètres de rayon, à un autre viaduc parfaitement identique au premier, sauf que le second est en palier, ainsi qu'une grande partie du remblai.

On rencontre ensuite, à la naissance d'une pente de 300 mètres de longueur, une tranchée de 180 mètres de long et d'une hauteur maxima de 18 mètres, en courbe de 1,200 mètres de rayon ; enfin le chemin, après un parcours total de 95 kilomètres, arrive au Havre au niveau du sol, en palier sur 1,200 mètres, et selon un alignement droit de 2,200 mètres.

Chemin de Paris à Lyon. — La construction du chemin du Havre décidée, l'importance de l'établissement d'un chemin de fer de Paris à Lyon, et, dans l'avenir, de l'Océan à la Méditerranée, fut unanimement reconnue.

Déjà l'Océan se trouvant uni à la capitale par le chemin de Rouen au Havre, il ne s'agissait plus que de diriger un railway sur Marseille pour compléter la ligne du Havre à la Méditerranée.

Avant l'achèvement de cette grande entreprise, on pouvait en retirer déjà des avantages précieux. La navigation à vapeur n'avait-

elle pas atteint, sur le Rhône et sur la Saône jusqu'à Châlons, un degré de célérité très-satisfaisant même à la remonte? Une fois donc Paris en communication avec Châlons par un chemin de fer, les relations avec la Méditerranée acquerraient aussitôt une merveilleuse activité. C'est pourquoi l'on entreprit d'abord les sections de Paris à Châlons et d'Avignon à Marseille.

L'importance des relations entre les points extrêmes semblait devoir conduire à adopter jusqu'à Châlons le tracé le plus direct. Mais il y eut des personnes qui virent dans le chemin du Sud-Est autre chose que le but déjà si vaste que nous venons d'indiquer. A leurs yeux, il devait, en outre, unir Paris ainsi que la Méditerranée au Rhin par un embranchement sur Mulhouse. Or cet embranchement pouvait-il mieux se faire qu'à Dijon, depuis longtemps en communication avec Mulhouse par une route impériale sur laquelle existe déjà une circulation des plus actives? En envisageant ainsi la question, Dijon devenait un point obligé du chemin de Lyon, et, nonobstant le détour considérable qui en devait résulter, ce fut cet avis qui prévalut.

Ce programme ainsi arrêté, on étudia plusieurs projets pour en mettre à exécution la première partie.

La plus grande difficulté qui se présenta pour la section de Paris à Dijon consistait dans l'obligation de franchir le faite des monts vosgiens, qui séparent le bassin de la Seine de celui de la Saône.

On étudia ce faite, et l'on y reconnut d'abord trois dépressions principales, dont on se proposa de profiter pour passer de l'un des bassins dans l'autre. Or, pour parvenir à chacun de ces points de plus facile accès, il se trouva qu'il fallait suivre chacune des trois principales vallées qui forment le bassin de la Seine; de là, naquirent trois tracés : celui de la Seine, celui de l'Aube, et celui de l'Yonne.

Le premier avait son point culminant près des sources de la Seine, au col de Poiseul, dont la hauteur, 472 mètres au-dessus du niveau de la mer, pouvait être réduite à 595 mètres, au moyen d'un souterrain de 2,700 mètres de longueur.

Le second eût franchi le faite vers les sources de l'Aube, au col de Vivey, non loin de Chalmessin. La côte, à ce point, est de

426 mètres, mais elle pouvait se réduire à 383 mètres, au moyen d'un souterrain de 1,530 mètres.

Enfin, le troisième passage était praticable à travers la crête de Pouilly, située près des sources de l'Armançon, affluent de l'Yonne; à ce point, la continuité de la chaîne est interrompue par une déchirure profonde au fond de laquelle roule la rivière de l'Ouche. Déjà les ingénieurs avaient tiré parti de cet accident de terrain en plaçant à Pouilly le point de partage du canal de Bourgogne. Sa côte n'est qu'à 441 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il n'exigeait, pour le passage du chemin de fer, qu'une tranchée de 1,800 mètres de longueur sur 18 mètres de hauteur maxima.

Le tracé de la Seine et celui de l'Aube avaient une partie commune : l'un et l'autre empruntaient dans son entier la ligne de Corbeil, tout en se réservant une gare spéciale; l'un et l'autre restaient constamment sur la rive droite de la Seine jusqu'à Romilly, traversant successivement l'Yonne et le Loing, touchant Melun, Montereau, Bray, Pont-sur-Seine et Nogent, et évitant les percées souterraines et les courbes roides, malgré les sinuosités de la Seine et les coteaux abrupts qui la bordent entre Corbeil et Melun. A Romilly, les deux tracés se séparaient : le premier passait à Troyes, à Bar-sur-Seine, à Châtillon, puis arrivait par la vallée du Revinçon au souterrain de Poiseul, au delà duquel, par divers vallons intermédiaires, il gagnait la vallée du Suzon, d'où il se dirigeait en ligne droite sur Dijon; le second passait à Arcis-sur-Aube, Borey, Brienne-le-Château (où l'on projetait un embranchement sur Strasbourg), Bar-sur-Aube, Clairvaux, puis arrivait au souterrain de Vincy, en suivant le cours sinueux de l'Aube; du côté opposé de ce tunnel, il descendait dans la vallée de la Tille, franchissait cette rivière sur un grand viaduc de 550 mètres de long sur 26 de haut avec une pente de 5 millimètres et à force de terrassements. Enfin, après un assez long parcours en plaine, il se raccordait de nouveau avec le tracé de la Seine à 500 mètres de Dijon.

La seconde partie du tracé de la Seine lui était commune avec un quatrième tracé que nous n'avons pas encore mentionné, et qui se désignait sous le nom de tracé de la Brie et de la haute Seine. Partant de Paris par la barrière des Vertus, ce tracé aurait suivi le ca-

nal de l'Ourq, puis la Marne jusqu'à Chalifert, où il l'eût quittée par un souterrain de 1,000 mètres. Il se fût engagé dans le vallon sinueux et étroit de l'Aubetin, eût été obligé de se mettre de nouveau en souterrain sur une longueur de 2,700 mètres pour rentrer dans la vallée de la Seine, et, sans avoir touché aucune ville importante, il eût rejoint à Romilly le tracé de la Seine.

Enfin le tracé de l'Yonne, quittant celui de la Seine à Montereau, longeait d'abord l'Yonne jusqu'à la Roche, puis le canal de Bourgogne, puis l'Armançon jusqu'à Tonnerre, et par le souterrain de Lesiers arrivait à Aisy; ici il fallait opter entre la vallée de la Brenne, que suit le canal, et celle de l'Armançon. Les coteaux de la première étaient formés d'un terrain glaiseux; on redouta l'exemple d'Ablon, et l'on préféra adopter la seconde, malgré ses roches granitiques et les difficultés qui en pouvaient résulter. Le tracé passait ainsi à Semur, et arrivait enfin au col de Pouilly. Au sortir de la grande tranchée par laquelle on devait le traverser, on s'engageait dans la vallée de l'Ouche, et, décrivant une grande courbe perpendiculairement à la direction voulue, on tournait le mont Affrique, et l'on arrivait ainsi à Dijon. La vallée de l'Ouche est fort étroite et assez sinueuse, elle contient déjà le canal de Bourgogne et la rivière de l'Ouche; on comprend qu'il eût été difficile d'y loger aussi le chemin de fer dans des conditions d'art bien favorables, surtout sous le rapport des courbes. C'était là une grave objection pour le tracé de l'Yonne; mais l'absence de souterrain parut une considération plus puissante.

Le tracé de la Brie fut écarté à cause des travaux et des pentes qu'il nécessitait pour franchir inutilement le faite de la Marne à la Seine, du peu d'importance commerciale des pays qu'il traversait et de la mauvaise position de son entrée à Paris, par rapport aux marchandises du Midi, et notamment aux vins, etc., etc.

Le tracé de l'Aube, projeté dans la pensée de donner un tronç commun aux lignes de l'Est et du Sud-Est, fut rejeté à cause de sa trop grande déviation de la direction naturelle et du déplacement de circulation qui en serait résulté, à cause de sa mauvaise position stratégique, à cause enfin de son peu d'aptitude à recevoir des embranchements.

Le tracé de la Seine le céda enfin à celui de l'Yonne, par suite de la comparaison des circulations probables, l'avantage étant du côté de la Bourgogne, sur la Champagne, surtout dans l'hypothèse de la prochaine concurrence, dans ce dernier pays, du chemin de Strasbourg, et aussi à cause du moindre faite à franchir et du moindre détournement de la circulation naturelle. Le parallélisme de la voie de fer et du canal de Bourgogne ne fut pas considéré comme une objection sérieuse. Le tracé de l'Yonne fut donc adopté par la commission, puis par la Chambre, en exprimant toutefois les vœux suivants :

1° Que des études fussent faites pour modifier le tracé entre Pont-d'Ouche et Dijon. — Ce qui ne tendait à rien moins qu'au percement dans le mont Affrique d'un souterrain de 5,000 mètres, précédé et suivi de pentes de 10 millièmes.

2° Que le chemin de Lyon eût une entrée spéciale dans Paris.

3° Qu'il y eût embranchement de Montereau à Troyes.

On verra par la description du tracé actuel que l'entrée spéciale a été réalisée, ainsi que l'embranchement de Troyes ; quant à la vallée de l'Ouche, on a sans doute reconnu, depuis, et les graves inconvénients que présenterait son parcours long et difficile, et l'inutilité qu'il y aurait, si l'on s'était décidé à percer le mont Affrique, d'avoir auparavant ouvert une tranchée longue et élevée, et même encore remonté la vallée difficile de l'Armançon au milieu des roches granitiques qui avoisinent Semur. C'est pourquoi, renonçant à cette dernière ville, on a quitté, à Montbard, l'Armançon et le canal de Bourgogne, et, remontant la vallée de l'Oze, on a substitué au col de Pouilly celui de Blaisy, où l'on a percé un tunnel de 4,100 mètres.

Le tracé actuel est donc tel qu'il suit : le point de départ dans Paris est situé sur le boulevard Mazas, à l'extrémité de la rue de Lyon, qui a été ouverte, par la ville de Paris, pour mettre cette gare en communication directe avec la Bastille.

Le chemin traverse les faubourgs de Paris où sont situés ses ateliers de réparation, il sort de Paris sur la rive droite de la Seine, parallèlement à ce fleuve, dont il se trouve, jusqu'à Villeneuve-

Saint-Georges et au delà, à peu près à la même distance que le chemin d'Orléans sur la rive gauche.

Aussi, les deux rives étant jusque-là peu dissemblables, ne trouve-t-on, dans cette première partie, comme au chemin d'Orléans, que de faibles pentes, des courbes de grand rayon, peu de terrassements, point de travaux d'art remarquables, si ce n'est à Charenton, sur les deux bras de la Marne, un double pont avec arches en fonte.

A partir de Villeneuve-Saint-Georges, on s'élève par une rampe variée de 4 à 5 millimètres par mètre, et de 11,600 mètres de longueur sur les collines qui forment la vallée de l'Yères. On traverse deux fois cette vallée avant et après Brunoy, sur deux viaducs, dont l'un a neuf arches de 9^m,67 d'ouverture, et l'autre vingt-huit de 10 mètres d'ouverture; la hauteur maxima est de 22 mètres, la longueur du premier viaduc est de 119 mètres, et celle du second de 575 mètres. On redescend ensuite par une pente variant aussi de 4 à 5 millimètres, mais sur 5,600 mètres seulement, jusqu'à peu de distance de Melun.

Un peu en aval de cette ville, au Mée, on traverse la Seine sur un grand pont en fonte, composé de trois arches de 40 mètres d'ouverture chacune, et dont la hauteur, au-dessus de l'étiage, est de 22 mètres. Puis se renouvelle la rampe variée de 4 à 5 millimètres sur une longueur de 6,600 mètres jusqu'après Fontainebleau, rampe interrompue toutefois par un palier de 100 mètres pour la station de cette ville.

De Fontainebleau à Montereau, le pays est assez accidenté. A Avon, à Saint-Mamès, à la Grande-Paroisse, se trouvent des rampes et des pentes alternatives de 4 à 5 millimètres sur 3,000 à 4,000 mètres. Les deux premières localités ont, en outre, exigé deux viaducs pour la traversée de Blangy et Lomy. Tous deux ont trente arches de 10 mètres d'ouverture et d'une hauteur maxima de 20 mètres; mais le second possède, en outre, deux arches biaises en fonte de 40 mètres d'ouverture pour le passage simultané de la rivière et du canal du Loing.

Quant aux courbes, elles sont toutes de grand rayon; on n'en

compte que quatre de 1,000 mètres, dont trois auprès de Saint-Mamès.

A Montereau, le railway, qui, depuis Melun, suit la rive gauche de la Seine, prend celle de l'Yonne et se trouve ainsi jusqu'à Sens en pays plat et presque en ligne droite. Il a donc nécessité peu de terrassements, si ce n'est à Pont-sur-Yonne, où se trouve une tranchée de 2,000 mètres de long et qui a jusqu'à 20 mètres de profondeur. Elle est précédée d'une rampe et suivie d'une pente de 4 millimètres sur 1,500 mètres environ, qui sont les plus fortes que l'on rencontre dans cette partie.

De Sens à Joigny, le railway, se trouvant presque continuellement au niveau du sol ou en faible remblai, n'a rien de remarquable; seulement le tracé, continuant de remonter l'Yonne, est forcé, comme cette rivière, de faire un grand nombre de circonvolutions. Mais les rayons de ces courbes sont tous très-grands; ceux de 1,000 ou 1,200 mètres forment exception. Après Joigny, le tracé passe l'Yonne à la Roche et suit à peu près parallèlement le canal de Bourgogne, se trouvant sans cesse compris entre ce canal et l'Armançon. Il passe ensuite cette rivière et la côtoie, sauf les détours, jusqu'à Tonnerre, où il arrive par une rampe de 4 millimètres sur 15,000 mètres; après quoi le profil devient plus accidenté. A la suite de quelques rampes faibles, s'en trouve une de 5 millimètres sur 2,800 mètres. Elle conduit aux deux souterrains successifs de Lezines et de Pary par une vallée en remblai de 800 mètres. Le premier de ces tunnels a 532 mètres de longueur, le second 1,000 mètres; mais ce qu'ils ont de particulier, c'est qu'ils sont, l'un sur une pente, l'autre sur une rampe de 3 millimètres, sans doute pour diminuer la hauteur déjà considérable du remblai intermédiaire. Les voûtes des deux souterrains en plein cintre ont chacune 8 mètres d'ouverture, et la hauteur sous clef est de 6 mètres. Celle du souterrain de Lezines est à 24 mètres, et celle du souterrain de Pary à 35 mètres au-dessous du sol.

Ici le tracé devient très-sinueux, tandis que le profil continue de présenter nombre de rampes et de pentes successives. Nous approchons, en effet, des montagnes qui séparent le bassin de la Seine de celui de la Saône; néanmoins, jusqu'à Aisy, les pentes et les rampes

n'ont pas plus de 5 millimètres sur 3,000 mètres de long, et les rayons des courbes moins de 1,000 mètres.

D'Aisy, le railway, suivant l'Armançon et le canal jusqu'à Montbard, les passe l'un et l'autre sur un pont biais, s'en sépare et s'engage dans la vallée de l'Oze, petite rivière qu'il remonte dans tout son cours.

Là commence la partie la plus difficile et la plus hardie du chemin. Déjà, pour arriver à la station de Montbard, on a dû gravir une rampe de 6 millimètres sur 1,700 mètres de longueur; mais, après cette station, c'est, d'abord, une suite presque continuelle de rampes de 4 à 5 millimètres sur une longueur totale de plus de 15,000 mètres, puis une rampe de 8 millimètres sur 3,220 mètres aux abords de la station de Verrey, qui se trouve sur un palier. A la suite, se présente de nouveau une rampe de 5 millimètres à 5^{mm},5 sur 2,600 mètres, puis une de 8 millimètres sur 6,500, et enfin on arrive au souterrain de Blaisy, que l'on a dû ouvrir au col de ce nom pour établir la communication entre les deux bassins de la Seine et de la Saône.

Ce souterrain, de 4 kilomètres de longueur, ayant une section transversale de 8 mètres de largeur et de 7 mètres de hauteur sous clef, est percé à une profondeur qui va jusqu'à 200 mètres au-dessous du terrain naturel.

Vingt et un puits circulaires, d'un diamètre intérieur de 3 mètres, revêtus presque tous d'une enveloppe en maçonnerie, offrant ensemble une longueur développée de 2,458 mètres et espacés entre eux d'environ 200 mètres, ont dû être creusés pour permettre d'opérer simultanément, sur un grand nombre de points, le déblaiement de ce souterrain.

Il est, comme celui de la Nerthe, sur le chemin d'Avignon à Marseille, ouvert dans des marnes que l'on ne peut attaquer qu'à la mine, mais qui, une fois exposées au contact de l'air, deviennent promptement friables et sans adhérence entre elles. Il faut les préserver avec soin et sans retard de l'action de l'air et de l'humidité au moyen d'un revêtement complet en maçonnerie, qui s'exécute au fur et à mesure du percement de la galerie.

Le souterrain de Blaisy a donné lieu à une dépense de dix mil-

lions, soit 2,440 francs par mètre courant ; c'est, à peu de chose près, le prix de revient du mètre courant du souterrain de la Nerthe.

Au sortir de ce tunnel, qui présente sur toute sa longueur une pente de 4 millimètres, on descend vers Dijon et sur Plombières par une suite de pentes ainsi distribuées : pente de 6 millimètres sur 200 mètres ; de 8 millimètres sur 2,500 mètres ; palier de 212 mètres ; pente de 8 millimètres sur 2,081 mètres ; palier de 848 mètres ; pente de 8 millimètres sur 10 kilomètres, etc.

On trouve encore, avant Dijon, une pente de 6^{mm},21, et, à l'entrée de la gare de cette ville, une pente de 6^{mm},6 et une courbe de 500 mètres de rayon.

Dans le cours de cette descente, on a dû traverser plusieurs vallées sur de grands viaducs, dont les principaux sont : à la sortie du souterrain de Blaisy, un premier viaduc de 190 mètres de long et de treize arches de 10 mètres d'ouverture chacune ; un deuxième à Malain, de 234 mètres et de dix-huit arches ; un troisième à la Combe-de-Fain, de 220 mètres, à deux rangs d'arcades ; un quatrième à la Combe-Bouchard, de 150 mètres et deux rangs d'arches ; un cinquième enfin à la Combe-Neuvon, de 236 mètres et de seize arches.

Il y a, en outre, sept souterrains, dont le plus grand, celui de Malain, a 328 mètres de longueur, et les autres ont ensemble 490 mètres. L'entrée à Dijon se fait latéralement au canal de Bourgogne. A la sortie, le railway marche parallèlement à la route impériale et la côtoie ensuite presque continuellement, de sorte qu'après une nouvelle pente de 5^{mm},1 sur 1,064 mètres et une courbe de 1,000 mètres de rayon, il se retrouve pour ainsi dire en plaine et reprend l'allure rectiligne. Il passe à Beaune, et présente, à l'entrée de la station de cette ville, une courbe de 500 mètres et une de 1,000 à la sortie. Il s'élève ensuite jusqu'à Chagny par une rampe de 5 millimètres sur 1,264 mètres, et redescend vers Châlons-sur-Saône par une pente aussi de 5 millimètres et de 4,900 mètres de longueur.

On trouve, à l'arrivée de Châlons, une courbe de 830 mètres de rayon et une de 500 mètres.

Cette section a été exécutée par les ingénieurs de l'État. On n'y peut citer, en fait de travaux d'art, qu'un pont-canal de 78 mètres de long, destiné à livrer passage au canal du Centre.

Entre Châlons et Lyon, le tracé du chemin de fer, depuis Châlons jusqu'à Anse, longe à peu près constamment la route impériale de Paris par la Bourgogne, se tenant tantôt à gauche tantôt à droite de cette route, et la traversant neuf fois, dont cinq fois au moyen de passages à niveau, deux fois au moyen de ponts construits au-dessus, et deux fois au moyen de ponts établis au-dessous de la route impériale.

A partir d'Anse, le tracé du chemin de fer abandonne la direction de cette route pour se maintenir dans la vallée de la Saône, toujours sur la rive droite de cette rivière et tout à fait au pied des coteaux qui bordent son cours jusqu'à Vaise.

A 1,700 mètres environ après la sortie de la gare de Vaise, le railway entre en souterrain sous le coteau de Fourvières ou de Sainte-Irénée, à une profondeur maxima d'environ 100 mètres, et se maintient ainsi en ligne droite sur 2,025 mètres de longueur. A sa sortie, le tracé traverse la Saône sur un pont en pierre composé de quatre arches en anse de panier de 27 mètres d'ouverture chacune, et il entre dans la gare de Perrache, à 100 mètres environ du quai de la rive gauche de la Saône.

Le profil en long du chemin de fer, entre Châlons et Lyon, n'offre aucune pente exceptionnelle. Il se compose d'une série de paliers séparés les uns des autres par des rampes et des pentes qui ne dépassent jamais 5 millimètres par mètre, et qui ont été nécessitées par les mouvements du sol.

Parmi les stations entre Châlons et Lyon ou aux extrémités de cette portion de la ligne de Paris à Lyon, celles de Vaise et de Perrache sont les plus importantes.

La station de Vaise contient une gare des voyageurs et une gare des marchandises, et, en outre, on y a établi un grand dépôt ainsi qu'un petit atelier de machines pour le service de l'extrémité de la ligne. La surface de l'ensemble de ces gares est de 18 hectares.

La gare de Perrache est moins importante que celle de Vaise, quoiqu'elle forme le point de jonction des deux grandes lignes de

Paris et de Lyon, d'une part, et de Lyon à la Méditerranée, de l'autre. Mais il a été formellement entendu que cette gare serait exclusivement destinée aux voyageurs; ce qui diminue son importance et a permis d'en réduire la superficie.

Elle occupe, dans la presqu'île de Perrache, à Lyon, la plus grande partie des terrains qui sont situés entre le cours Napoléon et la rue Dugas-Montbel, d'une part, et entre la rue de l'Entrepôt et Delandine, de l'autre.

La gare de Perrache couvre ainsi une surface d'environ 5 hectares $\frac{1}{2}$, non compris 1 hectare environ pris sur l'entrepôt des liquides et destiné à recevoir un petit dépôt de machines.

La longueur totale de ce chemin, déduction faite de l'entrée et de la traversée de Lyon, est de 502^k,947, sur lesquels 128^k,927 en pente, 135^k,402 en palier, et 238^k,572 en rampe. La déclivité totale des pentes est de 521^m,85, celle des rampes de 657^m,75. La différence, en montant vers Lyon, est donc de 155^m,92.

La longueur, y compris la traversée de Lyon jusqu'à la presqu'île de Perrache, est de 515^k,675, sur lesquels 530^k,447 d'alignements droits, et 172^k,498 de courbes.

On sait que le chemin de fer de Paris à Lyon est l'œuvre d'un des ingénieurs des ponts et chaussées les plus distingués, M. Julien; aussi tous les travaux en ont-ils été exécutés avec une perfection remarquable.

Chemin de Paris à Orléans. — C'est en 1858 que les Chambres ont voté le projet de loi qui a décrété l'établissement du chemin de fer de Paris à Orléans.

Trois lignes avaient été étudiées : celle qui a été exécutée, que nous décrirons plus loin, et deux autres.

De ces deux dernières, l'une passait par Versailles, Rambouillet, et allait aboutir, après un assez long circuit, à Orléans.

Elle allongeait le trajet de 16 kilomètres, sans desservir des contrées bien riches ni des populations nombreuses. On lui reprochait, en outre :

- 1° De présenter des pentes trop fortes;
- 2° D'aboutir à un point de Paris éloigné de la rivière, disposition qui ne se prête pas facilement à un service économique de

marchandises. Quant à ce qui concerne les pentes, le maximum étant de 4 millimètres, tandis qu'il n'était que de 3 dans le tracé adopté par le gouvernement, tel qu'il avait été étudié par son auteur, M. Desfontaines, on ne saurait admettre aujourd'hui qu'elles fussent excessives ; mais l'accroissement de parcours était un défaut plus grave, qui a fait rejeter avec raison, selon nous, le tracé par Versailles.

La seconde ligne explorée suivait la vallée de l'Essonne, se dirigeait sur Corbeil, passait par Malesherbes et Pithiviers, après avoir jeté un embranchement sur Étampes, et de là se rendait à Orléans en touchant Neuville.

Ce tracé était plus long que le tracé Desfontaines et traversait les terrains marécageux d'une vallée tourbeuse dans laquelle l'établissement d'un chemin de fer entraînerait à des dépenses et à des difficultés d'exécution considérables.

Le chemin d'Orléans, tel qu'il a été exécuté, peut être divisé en quatre sections, à savoir :

1° De Paris à Juvisy, en nombres ronds.	19 kilom.
2° De Juvisy à Corbeil (embranchement).	12
3° De Juvisy à Étréchy (ligne mère).	52
4° D'Étréchy à Orléans.	70
TOTAL.	153 kilom.

Les deux premières sections, côtoyant presque constamment la Seine, n'offrent que des pentes faibles et des courbes de grand rayon. Elles n'ont nécessité que des mouvements de terrain ordinaires.

On a suivi pour la première le tracé du gouvernement, sauf quelques modifications de détail. Quant à la seconde, projetée d'abord sur la rive droite, elle a été établie sur la gauche, afin d'éviter un pont biais sur la Seine et d'obtenir une entrée plus centrale à Corbeil.

La troisième section, exécutée d'après le tracé de M. Desfontaines, présente une succession de remblais et de déblais assez considérables, sur une longueur de 18 kilomètres, depuis Juvisy jus-

qu'aux environs de Cossigny. Entre ces deux points, le tracé est constamment établi sur les flancs des coteaux qui bordent la vallée de l'Orge ; il offre une série continuelle de courbes et de contre-courbes de 1,200 à 1,500 mètres de rayon, et une rampe courante et uniforme de 3 millimètres par mètre, qui, s'étendant sur une longueur de 1,500 mètres, s'élève de 45 mètres depuis le bassin de la Seine jusqu'au plateau de Marolles ; de là, on redescend dans la vallée de la Juine jusqu'à Étréchy par des pentes dont la plus forte est de 2 millimètres par mètre, et au moyen desquelles on s'abaisse de 6^m,40.

A Étréchy se présentait, pour la quatrième section, une difficulté sérieuse. Il s'agissait de monter sur le plateau de la Beauce, c'est-à-dire à 67 mètres de hauteur. Il fallait donc développer le tracé dans une des vallées qui, de ce plateau, descendent jusqu'au bassin de la Seine.

La vallée de la Juine, choisie d'abord par les ingénieurs de l'État, eût permis d'adopter une pente de 3 millimètres par mètre. Mais le chemin de fer s'y fût trouvé établi en remblai sur un terrain humide et tourbeux à une grande profondeur, et, en outre, sur le flanc de coteaux à talus très-roides.

Les ingénieurs de la Compagnie, effrayés des difficultés d'un tel projet, des dépenses et des accidents qu'il pouvait occasionner, aimèrent mieux risquer une pente de 8 millimètres sur une longueur de 5,300 mètres, entre Étampes et Monerville, et suivre la vallée sèche de l'Hémery, qui, à la sortie d'Étampes, se trouve à la droite de la route impériale. La nouvelle ligne reste dès lors sans cesse à 400 ou 500 mètres de distance de cette route, à droite, depuis Étréchy jusqu'à Angerville ; à gauche, d'Angerville à Orléans.

On a eu à exécuter, dans cette section, des travaux de terrassement assez considérables, notamment l'ouverture d'une tranchée dans la vallée de l'Hémery et l'établissement de remblais dans la vallée de Brière et dans celles de la Lonette et de la Chalonne ; mais la difficulté en a été notablement diminuée par la bonne qualité des terrains.

Arrivé sur le plateau de la Beauce, le tracé, dans un développement de 56 kilomètres, s'est trouvé placé dans les meilleures con-

ditions, ne trouvant que des propriétés de peu de valeur, n'attaquant aucune construction, ne rencontrant aucun cours d'eau, et n'exigeant ni terrassements considérables ni travaux d'art difficiles.

Au reste, sur toute la ligne, les travaux d'art n'offraient que peu de difficultés. On n'y trouve aucun souterrain, aucun pont sur un cours d'eau de quelque importance, et l'on n'y peut citer qu'un seul viaduc, celui du port de Choisy-le-Roi.

Cependant la construction de ce chemin ne fut pas exempte d'accidents imprévus. A l'ouverture d'une grande tranchée, près d'Ablon, dans un terrain glaiseux, il survint des éboulements si considérables, que l'ingénieur, M. Jullien, crut devoir renoncer aux travaux commencés et faire un détour coûteux pour la Compagnie.

Le chemin d'Orléans possède trois gares remarquables : celles de Paris, d'Orléans et d'Etampes.

Chemin de Paris à Strasbourg. — Les études du chemin de Strasbourg remontent à l'année 1834, mais ce n'est qu'en 1845 que le tracé du chemin de Strasbourg a été étudié dans quatre grandes directions.

Un premier tracé, qu'on peut appeler tracé du Nord, s'embranchait sur la ligne du Nord, à Creil, suivant la vallée de l'Aisne, en passant par Compiègne et Soissons, la vallée de la Vesle, en touchant Reims, et gravissait le col d'Anse, coupait les trois vallées de l'Oise, de l'Aisne et de la Meuse, puis descendait dans les vallées de la Moselle et de la Meurthe, passait à Nancy, Lunéville, traversait les Vosges par Sarrebourg, le col de Hommarting, et arrivait à Strasbourg par la vallée de la Zorn. Une branche de cette grande ligne s'en détachait à Arnaville, petit village situé sur la Moselle, pour desservir Metz, Sarrebruck et Manheim.

Nancy, dans le cas où on eût adopté ce projet de tracé, se fût trouvé à 411 kilomètres de Paris, Strasbourg à 560, Metz à 437, et Sarrebruck à 466.

Un second tracé, celui du Midi, empruntait le chemin de Corbeil, le continuait par Melun et Fontainebleau jusqu'à Montereau, quittait à Montereau le tracé du chemin de Lyon par l'Yonne, passait à Nogent-sur-Seine et Troyes, puis se dirigeait de là, presque

en droite ligne, vers Pargny-sur-Saulx, en franchissant la vallée de l'Aube à Lesment, et la vallée de la Marne à quelque distance en amont de Vitry; puis il gagnait Nancy en passant par Pagny-sur-Meuse et Toul, et suivait de Nancy à Strasbourg une ligne déjà indiquée.

Un troisième tracé, passant entre celui du Nord et celui du Midi, suivait la vallée de la Marne, desservait Lagny, Meaux, la Ferté, Château-Thierry, remontait la vallée de l'Ornain jusqu'à Bar-le-Duc, franchissait le faite séparatif des vallées de la Marne et de la Meuse à Vadonville et Loxeville; puis descendait à Toul, dans la vallée de la Moselle, qu'il suivait jusqu'à Frouard, d'où il jetait un embranchement sur Metz, en remontant la Meurthe jusqu'à Nancy, où il reprenait le tracé déjà décrit.

C'est ce tracé intermédiaire qui a été adopté. Nous en donnerons une description plus détaillée.

Un quatrième tracé, enfin, s'élevant sur les plateaux qui séparent la vallée de la Marne de celles de la Seine et de l'Aube, quittait Paris comme le précédent, traversait les plateaux de la Brie en coupant la Marne dans la direction de Lagny, touchait Coulommiers, Sézanne, et redescendait à Vitry pour se diriger sur Strasbourg par un des tracés déjà décrits.

De ces quatre tracés, celui du Nord, par Compiègne, Soissons et Reims, avait été étudié dans l'intention de favoriser la direction de l'Allemagne par Metz, Sarrebruck et Manheim, aux dépens de celle par Nancy et Strasbourg.

La ville de Reims, desservie aujourd'hui par un simple embranchement, l'était alors directement.

Le tracé du Midi, par Corbeil, Melun, Fontainebleau et Troyes, présentait l'avantage d'une grande économie, puisqu'il avait un tronç commun avec les chemins d'Orléans et de Lyon; mais il passait à une grande distance d'une portion importante du territoire de l'Est desservi par le chemin actuel.

Le tracé des plateaux de la Brie ne donnait aucune satisfaction aux habitants de la vallée de la Marne et de la Seine.

Le tracé de la vallée de la Marne traverse au contraire les populations les plus denses et les plus riches; il est plus court que celui

du Nord, et mieux à couvert de l'ennemi en cas d'invasion. Il se recommandait ainsi par un grand nombre de considérations.

On a étudié sur ce tracé plusieurs variantes qu'il ne nous paraît pas d'un grand intérêt de faire connaître.

Tel qu'il a été exécuté, le chemin de Paris à Strasbourg passe à Lagny, Meaux, la Ferté-sous-Jouarre, Château-Thierry, Épernay, Châlons, Vitry-le-Français, Bar-le-Duc, Commercy, Toul, Nancy, Lunéville, Sarrebourg et Saverne. Il dessert indirectement les villes de Reims et de Metz : la ville de Metz par un embranchement qui se prolonge jusqu'à la frontière prussienne, à Forbach ; et la ville de Reims, par un embranchement que l'on continue sur Mézières, Sedan et Givet. La Compagnie a entrepris les travaux d'un chemin de Nancy à Vesoul, dont une partie, celle de Nancy à Épinal, vient d'être terminée. Enfin un autre embranchement, déjà exploité de Blesmes à Gray, relie ou reliera prochainement la ligne de Strasbourg avec toutes les usines de la Haute-Marne, Chaumont, Langres et Gray.

De Paris à Meaux, le tracé ne présente que de faibles pentes et des courbes à grand rayon ; mais la nécessité de traverser le faite séparatif des vallées de la Seine et de la Marne et plusieurs contre-forts de cette dernière vallée a exigé des terrassements considérables et le percement, à Chaliffert, d'un souterrain de 194 mètres.

L'une de ces tranchées, celle de la Maison-Blanche, présentant un déblai de 500,000 mètres cubes, a été ouverte dans des terrains argileux dans lesquels on a été obligé d'exécuter des travaux de consolidation assez dispendieux.

Aux abords de la station de Meaux, on trouve une courbe de 700 mètres de rayon, et des pentes et des rampes de 5 millimètres par mètre ; mais, bientôt après, les rayons des courbes rentrent encore dans les limites de 1,000 à 1,200 mètres.

C'est au delà de Meaux que l'on rencontre la tranchée de Poincy, la plus considérable de toute la ligne ; elle a 1,900 mètres de développement ; sa plus grande hauteur est de 16 mètres, et la quantité des déblais dépasse 500,000 mètres cubes.

La nécessité de traverser un autre contre-fort de la Marne, dans les bois de Meaux, a déterminé dans cette localité l'ouverture de

deux autres tranchées très-importantes encore, et le percement d'un nouveau souterrain, celui d'Armentières, de 644 mètres de longueur.

A ce point, le tracé devient plus tourmenté ; il se compose en plan d'une suite de courbes de 1,000 à 1,200 mètres de rayon ; et, en profil, il présente un long palier de 7,000 mètres environ, une pente de 0^m,5 sur 2,000 mètres, et un nouveau palier sur lequel se trouve la station de la Ferté-sous-Jouarre. Les tranchées sont d'une importance secondaire.

Au delà de la Ferté, on arrive à un troisième souterrain, celui de Nanteuil, de 959 mètres de longueur ; on pénètre ensuite dans le département de l'Aisne, où l'on ne tarde pas à rencontrer un quatrième tunnel à l'extrémité d'une rampe de 1 millimètre sur 2,000 mètres, et d'une courbe de 1,000 mètres de rayon. Ce souterrain, dit de Chézy-l'Abbaye, n'a qu'une longueur de 452 mètres ; mais il est percé dans un terrain de glaise tellement fluide, que le prix du mètre courant a dépassé 2,290 francs.

Aux abords de Château-Thierry, et surtout au delà de cette ville, le tracé est de nouveau très-sinueux, sans que le rayon des courbes descende au-dessous de 1,000 mètres. Il est ensuite presque rectiligne jusqu'à Épernay, où il arrive par une courbe d'un rayon de 1,000 mètres. Jusqu'à Châlons, il n'y a à relater qu'une rampe de 4 millimètres sur 2,500 mètres, près d'Aulnay, et une courbe de 700 mètres de rayon à l'arrivée dans la station de Châlons.

Le tracé se continue jusqu'à Vitry-le-Français sans courbes ni pentes ou rampes présentant quelque importance ; il passe, à Vitry, de la rive gauche à la rive droite de la Marne.

Ce n'est pas à Vitry que le railway passe pour la première fois d'une rive à l'autre de la vallée de la Marne, qu'il a constamment suivie depuis l'extrémité sud de la tranchée de la Maison-Blanche ; les exigences de la configuration du terrain ont nécessité sur la Marne sept traversées successives depuis Chaliffert jusqu'au delà du souterrain de Nanteuil, et, en conséquence, sept grands ponts de trois à cinq arches, présentant un ensemble de 70 mètres de débouché.

Ces ponts constituent, avec les quatre souterrains et les tranchées

considérables dont nous avons déjà parlé, les seuls travaux remarquables des trois premières sections.

A Vitry, le tracé quitte la vallée de la Marne pour suivre celle de la Saulx. Il abandonne à son tour la Saulx pour remonter l'Ornain, son affluent, jusqu'à Bar-le-Duc.

Cette partie du tracé ne présente que des courbes à grand rayon et des pentes et rampes dont l'inclinaison n'excède pas 5^{mm},5.

A la sortie de Bar-le-Duc, le tracé offre une série presque continue de courbes de 800 à 1,200 mètres de rayon; il côtoie d'abord le canal de la Marne au Rhin, puis l'Ornain, et quitte cette rivière pour monter au faite séparatif de la vallée de la Marne et de la Meuse, qu'il atteint à Vadonville. Dans ce parcours, le profil est très-accidenté. On y trouve d'abord, sur une longueur de 1,200 mètres, une rampe variée de 5 à 5 millimètres avec deux alignements de 200 mètres inclinés de 2 millimètres en guise de palier aux stations de Longeville et de Nançois-le-Petit.

Vient ensuite une rampe de 8 millimètres sur 10,250 mètres qui s'étend à peu près jusqu'au palier de la station de Loxeville, puis une portion de chemin d'environ 5 kilomètres avec une très-faible inclinaison, et enfin un nouveau plan incliné de 8 millimètres de pente en sens contraire du premier, s'étendant sur une longueur d'environ 10 kilomètres jusqu'à la station de Lérouville; on arrive ainsi dans la vallée de la Meuse, qu'on suit jusqu'à Pagny après avoir touché Commercy.

A Pagny, le tracé quitte la vallée de la Meuse pour rentrer dans celle de l'Ingressin, affluent de la Moselle, et traverser le faite séparatif de ces deux vallées; il coupe deux contre-forts en souterrains: le souterrain de Pagny, d'une longueur de 575 mètres, et le souterrain de Foug, d'une longueur de 1,120 mètres. Il suit alors le cours de l'Ingressin en longeant la route impériale de Paris à Strasbourg, et débouche à Toul, dans la vallée de la Moselle, où il reste jusqu'à Frouard. Le lit de cette rivière, dans cette partie de son cours, est tellement sinueux, que le tracé doit passer trois fois d'une rive à l'autre en franchissant la rivière sur trois grands ponts de 155 à 160 mètres de débouché chacun.

A Frouard, où se trouvent le confluent de la Moselle et de la

Meurthe et le point de jonction de l'embranchement de Metz, le tracé quitte la vallée de la Moselle pour rentrer dans la vallée de la Meurthe, qu'il suit jusqu'à Nancy en longeant la route impériale de cette ville à Metz. De Commercy à Toul et à Nancy, ou, pour mieux dire, dans la traversée des vallées de la Meuse, de l'Ingressin et de la Moselle, on reste, pour l'inclinaison des rampes et des pentes et pour les rayons des courbes, dans les limites ordinaires, et il n'y a de travaux d'art remarquables que les deux souterrains et les trois grands ponts sur la Moselle dont nous avons parlé ci-dessus.

A Nancy, le tracé contourne la ville en la serrant de près dans les faubourgs Stanislas et Saint-Jean, après quoi il prend une direction presque parallèle à la route de Paris à Strasbourg sur un développement d'environ 6 kilomètres; puis il franchit cette route et se dirige vers la Meurthe, qu'il traverse à 8 kilomètres de Nancy. Se trouvant alors sur la rive droite de la vallée, il en suit les sinuosités en remontant le cours de la rivière, qu'il traverse de nouveau deux fois de suite, et s'en éloigne enfin pour se rapprocher de Lunéville.

Dans tout ce trajet, d'environ 50 kilomètres, il n'y a qu'une rampe de 5 millimètres sur 615 mètres de développement, et une pente de 4 millimètres sur 200 mètres. L'inclinaison des autres pentes et rampes ne dépasse pas 5^{mm},5; toutes les courbes y sont à grand rayon, à l'exception des deux qui précèdent et suivent la station de Lunéville; leur rayon n'est que de 800 mètres.

Les terrassements y sont assez considérables, notamment pour la tranchée de la traversée de Nancy et pour le percement d'un contre-fort qui s'avance près de Dombasle jusqu'à la Meurthe.

Les trois grands ponts dont nous avons parlé plus haut sont les seuls travaux d'art considérables qu'on rencontre dans cette section. Le premier de ces ponts a d'autant plus d'importance, qu'il sert en même temps de viaduc pour le chemin et de pont-aqueduc pour le canal de la Marne au Rhin.

De Lunéville à Sarrebourg, le tracé n'offre rien de remarquable : il remonte, à partir de Marainvillers, le ruisseau des Amis; coupe, au delà de Réchicourt, le col séparatif des eaux du Saôlon et de la Sarre; arrive à Sarrebourg après avoir contourné le promontoire de

la vallée de Heming, et se porte enfin vers Hommaring. Il n'y a dans cette section, d'un développement de 55 kilomètres, qu'un travail de quelque importance : le pont sur la Sarre, à Sarrebourg, près la station de cette ville. L'inclinaison des pentes et des rampes et le rayon des courbes y restent dans les limites ordinaires.

C'est au delà d'Hommaring et jusqu'à Saverne, section qui comprend la traversée de la chaîne des Vosges, que se rencontrent le tracé le plus difficile et les travaux les plus considérables de la ligne de Paris à Strasbourg. La traversée du faite séparatif des bassins de la Sarre et du Rhin a exigé d'abord un percement en souterrain d'une longueur de 2,778 mètres, que le chemin traverse avec une pente de 5 millimètres, et qui débouche dans la très-pittoresque vallée de Lutzelbourg, où coule la Zorne. Cette vallée est tellement étroite sur quelques points, que c'est à peine si le chemin de fer, le canal de la Marne au Rhin, le lit de la rivière et le chemin d'exploitation, qui y sont réunis, peuvent y trouver place.

Le canal, qui, à la sortie du souterrain d'Hommaring, passe au-dessus du chemin de fer, s'abaisse promptement au moyen d'écluses, qui rachètent des chutes assez fortes, et, bientôt après, c'est le chemin de fer qui, à plusieurs reprises, passe au-dessus du canal.

Le tracé est très-sinueux dans cette vallée : il est formé en plan d'une série de courbes dont le rayon varie dans les limites de 750 à 1,250 mètres, et, pour arriver à ce résultat, il faut encore franchir en souterrain cinq contre-forts de la chaîne des Vosges.

Quatre de ces tunnels, avant l'usine de Stambach, le premier de 247 mètres de longueur, le second de 489 mètres, le troisième de 395 mètres, et le quatrième de 482, ne sont séparés que par des intervalles respectifs de 1,450, 2,905 et 290 mètres, partie en remblai et partie en tranchée, et l'on trouve à leur entrée comme à leur sortie des courbes de 750 à 800 mètres de rayon. Un cinquième tunnel, avant Saverne, d'une longueur de 524 mètres, est encore engagé en partie dans une courbe de 750 mètres de rayon.

A partir de la limite du département du Bas-Rhin, le tracé est presque constamment en pente: mais l'inclinaison n'y dépasse pas

5 millimètres, et ce n'est qu'à la sortie de Saverne qu'on trouve une pente de 5 millimètres sur 1,100 mètres de longueur.

Le tracé, qui, depuis la sortie du souterrain de Hommarting, a constamment suivi la vallée de la Zorne, continue à longer le cours de cette rivière de Saverne à Brumath, puis il se recourbe brusquement pour gagner Strasbourg en longeant la route de Wissembourg.

On trouve encore quelques courbes d'un rayon de 700 à 800 mètres aux abords des stations de Saverne et de Dettwillers; mais, entre Saverne et Strasbourg, les courbes sont généralement à grands rayons. L'inclinaison des pentes et rampes y est faible aussi, et cependant elle est portée à 5 millimètres sur une longueur de 800 mètres près de Mommenheim.

Les chemins de fer de Paris à Strasbourg et de Strasbourg à Bâle se réunissent en avant des fortifications au moyen d'une courbe de 700 mètres de rayon, sur un palier horizontal, et les deux chemins pénètrent ensemble dans la place avec une pente de 5 millimètres.

La gare de Paris est l'une des plus belles sous le rapport de l'architecture.

La gare de Strasbourg, dans un style moins riche que celle de Paris, est aussi remarquable. On peut encore citer celles d'Épernay, de Châlons, de Bar-le-Duc, de Nancy et de Lunéville, de Metz, de Frouard et de Forbach.

Aux stations de Chelles et de Trilport, la longueur des paliers étant insuffisante, le départ des trains de marchandises très-chargés ne peut s'effectuer, surtout dans certains temps de brouillard et de verglas, que très-difficilement.

Les trains arrivant à la Ferté-sous-Jouarre du côté de l'est par une tranchée courbe rendent les abords de cette station fort dangereux.

Les stations sont généralement placées très-près du centre des villes; celle de Château-Thierry seulement est établie à 600 mètres de la ville.

Les projets du chemin de Strasbourg ont été étudiés et les travaux exécutés, sous la direction de M. Schwilgué, inspecteur général des ponts et chaussées, par MM. de Sermet, Marinet, Guibal, Colli-

gnon, Jacquiné et Boulanger, que la mort est venue frapper avant la fin des travaux, et qui eut pour successeur M. Guerre, tous six ingénieurs en chef des ponts et chaussées.

Chemin de ceinture¹. — Le tracé du chemin de ceinture est entièrement compris entre l'ancien mur d'octroi et les fortifications : il se détache aux Batignolles des voies de la gare des marchandises de Rouen, longe les fortifications dans la première partie de son parcours, passe au-dessous des chemins de fer du Nord et de Strasbourg, et, presque immédiatement après, au-dessus du canal de l'Ourcq, traverse sur arcades la plus grande partie de la commune de la Villette, puis entre en souterrain pour arriver à Belleville; il reparait au jour près de la place de Ménilmontant, arrive à Charonne après un nouveau parcours souterrain, et se poursuit, sans grands travaux, de Charonne au chemin de fer de Lyon; il franchit ce chemin, ainsi que la Seine, et vient aboutir au chemin d'Orléans, à la sortie de la gare d'Ivry. Des embranchements spéciaux le raccordent avec les trois lignes qu'il rencontre dans son parcours.

Le développement total du chemin de ceinture est de 16,871 mètres, y compris les raccordements avec les grandes lignes. Mais la ligne principale n'a en réalité que 15,185 mètres. Souterrains, arcades, viaducs en tôle, pont sur un grand fleuve, sont groupés sur son faible parcours, où se trouvent ainsi représentés tous les genres d'ouvrages que peut comporter l'exécution d'un chemin de fer.

Parmi les ouvrages en tôle, on remarque les ponts des chemins du Nord et de Strasbourg, construits sous des lignes en exploitation, ponts que M. Brame a décrits dans les *Annales*, et le pont du canal de l'Ourcq, franchissant le bassin de la Villette par deux travées de 20 mètres d'ouverture chacune. Les longrines reposent sur des poutrelles transversales en fer double T de 50 centimètres de hauteur, qui sont elles-mêmes portées par trois poutres longitudinales en tôle longue de 45 mètres, et dont la principale pèse 22,000 kilogrammes.

¹ Extrait des *Annales des ponts et chaussées*.

Les souterrains de Belleville sont ouverts dans la masse de plâtre, mais leur voûte sort fréquemment de cette masse et pénètre alors dans les argiles, dont la présence a souvent opposé des difficultés sérieuses au travail. Leur développement total est de 2,000 mètres; ils ont coûté ensemble 2,130,000 francs, ou 1,000 francs par mètre courant.

Trois séries d'arcades ont été construites dans les terrains précieux des communes de la Villette et d'Ivry, afin de réduire l'espace occupé par le chemin de fer; leur développement dépasse 1 kilomètre, déduction faite des douze ouvrages d'art qui y sont englobés. Ces arcades, élevés de 5 à 7 mètres, reviennent à un peu moins de 500 francs par mètre courant de chemin de fer.

Les ouvrages sont au nombre de quarante-quatre, et présentent un développement de 4 kilomètres. Le principal est le pont qui franchit la Seine à Ivry, et livre passage à la fois au chemin de fer et à une route publique. Il se compose de cinq arches en arc de cercle de 34^m,50 d'ouverture chacune et de deux arches de 12 mètres établies sur les routes qui bordent les quais. Sa largeur entre les têtes est de 15^m,30; la hauteur des rails au-dessus des basses eaux de la Seine est de 15 mètres; chaque pile est fondée sur 140 pieux de 12 à 14 mètres de longueur; de petites voûtes, présentant ensemble un vide de 3,500 mètres cubes, ont été construites dans le massif des tympans pour réduire la charge supportée par ces pieux. Ce grand ouvrage n'a pu être commencé qu'au mois de juillet 1852; il a été exécuté en dix-huit mois; il coûte 1,800,000 francs.

Les pentes du chemin de ceinture varient de 2 millimètres à 10^{mm},65, le rayon maximum des courbes est de 1,082 mètres, le rayon minimum de 500 mètres.

Les dépenses d'exécution de ce chemin s'élèvent à 11,500,000 fr., non compris le matériel roulant; les terrains entrent dans ce chiffre pour 2,600,000 francs.

La Compagnie du Nord a rendu hommage au talent incontestable de M. Couche, ingénieur du chemin de ceinture, en le nommant ingénieur en chef de ses travaux pour remplacer M. Maniel, devenu directeur des chemins autrichiens.

Chemin de Londres à Brighton. — Parmi un grand nombre de tracés proposés pour le chemin de Londres à Brighton, le Parlement anglais a choisi le plus direct, mais aussi le plus coûteux. Aussi ce chemin est-il celui pour lequel, en Angleterre, le cube des terrassements a été le plus considérable : il a atteint le chiffre énorme de 75,000 mètres cubes par kilomètre.

Ce chemin devrait être rangé parmi ceux à faibles pentes si, sur le tronçon commun à cette ligne et à celle de Londres à Douvres, le profil ne présentait une rampe de 1 centième sur une longueur de 1 kilomètre, car, sur tout le reste du trajet, l'inclinaison ne dépasse jamais 4 millièmes.

Le cube de la plus grande tranchée est de 700,000 mètres, celui des plus grands remblais de 550,000 mètres. Les tranchées ont été généralement percées dans la craie. Une grande partie des terres a été retroussée. On rencontre aussi sur le chemin de Londres à Brighton plusieurs souterrains.

Chemin de Londres à Douvres (South-Eastern railway). — Toutes les pentes sur ce chemin sont inférieures à 4 millièmes, si ce n'est sur le tronçon commun aux deux lignes de Douvres et de Brighton. Les courbes sont de grand rayon.

Les travaux d'art et de terrassement n'y présentent aucune particularité digne d'observation. Les plus importants se trouvent près du point d'arrivée à Douvres.

La pose du chemin de Londres à Douvres a été faite avec un soin tout particulier par des procédés nouveaux décrits dans le *Portefeuille de l'ingénieur*.

Parmi les stations, nous citerons la station extrême de Bricklayer-Arms, l'une des mieux disposées des chemins anglais.

Les plans en ont été publiés dans le *Portefeuille de l'ingénieur*. Ce chemin est l'œuvre de l'habile ingénieur Cubitt.

Chemin de Liverpool à Manchester. — Le chemin de Liverpool à Manchester est le doyen des chemins à grande vitesse. Le chemin de Saint-Étienne est son aîné d'une année, mais il n'admet pas cette rapidité de transport qui mérite l'épithète de grande sur les chemins de fer (de 60 à 80 kilomètres par heure), et d'ailleurs, bien que la circulation des voyageurs y soit considérable, le

transport du charbon de terre est la principale source de ses revenus.

Lorsqu'on forma le projet d'exécuter le chemin de Liverpool à Manchester et qu'on adopta le tracé de Stephenson, les machines locomotives étaient encore bien grossières, bien imparfaites. Elles n'avaient, pour ainsi dire, de commun que le nom avec ces machines admirables qui ont porté le nom de Robert Stephenson aux extrémités les plus éloignées du globe. On ne pensait pas alors qu'il fût possible d'employer avantageusement les machines locomotives sur toute la ligne du chemin de fer, et ce fut dans cette supposition que l'on conserva dans le tracé deux plans inclinés en sens inverse, comprenant chacun une longueur de plus de 2 kilomètres et ayant une pente de 1 centième. Deux machines fixes devaient les desservir; et, comme on était forcé, pour pénétrer dans l'intérieur de la ville de Liverpool, de traverser en souterrain une colline sur laquelle les maisons s'élèvent en amphithéâtre, on décida de prime abord l'établissement de trois machines fixes entre Liverpool et Manchester.

Rien ne s'opposait à l'emploi des machines locomotives sur les autres parties du chemin, dont l'inclinaison ne dépassait pas $1^{\text{mm}}, 1$, et qui ne présentait de circuit de petit rayon qu'à l'entrée de Manchester. On discuta cependant la question de savoir si les machines fixes ne seraient pas préférables; et ce dernier mode, soutenu par deux ingénieurs, MM. Rastrick et Walker, fut sur le point d'être adopté. Mais la question fut tranchée par l'apparition, au célèbre concours de Liverpool, des machines à chaudière tubulaire, qui remontèrent les pentes de 1 centième avec une assez forte charge et une rapidité dont les spectateurs furent émerveillés. On renonça dès ce moment aux machines fixes pour toute la ligne, sauf la partie inclinée de 2 pour 100 établie sous la ville de Liverpool.

Une seule entrée dans Liverpool n'eût pas été suffisante eu égard à l'active circulation des voyageurs. Aussi le chemin de fer se divisa-t-il, aux portes de Liverpool, en trois branches souterraines. Le plus long souterrain, qui aboutit aux quais et dont la pente est de 2 centièmes, sert exclusivement au transport des marchandises; les deux autres à celui des voyageurs. Tout le reste de la ligne est à ciel ou-

vert, mais son aspect est singulièrement varié : tantôt le chemin fend le terrain par une tranchée profonde de 20 mètres de hauteur dont les parois sont à pic, comme au mont Olive; tantôt il traverse les vallées sur de larges remblais, comme à Broad-Green, ou par de longs viaducs, comme à Tankey; ou bien, enfin, il n'occupe qu'une bande mince au niveau du sol, comme dans les marais du Chat. Ces immenses marais ont une profondeur variable qui atteint quelquefois 10 mètres. Les ingénieurs les plus expérimentés avaient déclaré au Parlement qu'il était impossible de les franchir. George Stephenson, ancien ouvrier mineur, fut plus habile que les plus habiles ingénieurs : il fixa les bandes de fer sur ce terrain mouvant. L'Angleterre récompensa plus tard ce héros de l'industrie.

Chemin de Manchester à Leeds. — Ce chemin, un des principaux anneaux de la chaîne qui réunit le port de Liverpool à celui de Hull, traverse les districts les plus manufacturiers de l'Angleterre.

Il n'est pas moins curieux sous le rapport des travaux qu'important comme ligne commerciale. C'est, après le chemin de Liverpool à Manchester, l'œuvre la plus remarquable du célèbre George Stephenson.

Les courbes du chemin de Manchester à Leeds ont généralement 1,200 mètres au moins de rayon, à l'exception de trois courbes près de Charlestown, qui n'ont chacune que 250 mètres. On a été conduit à l'adoption de ces petites courbes par l'éboulement d'un tunnel qui a forcé à dévier de la ligne projetée. Elles n'ont du reste que 300 mètres de longueur. On les passe en modérant la vitesse des locomotives.

De Manchester, le chemin monte vers le point culminant de la ligne, situé à 28 kilomètres environ de Manchester, par une suite de pentes variées, dont une de 8 millièmes sur 4,500 mètres de longueur, et une autre de 6^{mm},5 sur 6,500 mètres. Il descend ensuite du côté de Leeds par des pentes plus douces.

Le cube des terrassements sur ce chemin est de plus de 48,000 mètres cubes par kilomètre, ce qui est considérable.

Les ponts sont au nombre de cent seize. Une partie sont construits en pierre. Le cube des maçonneries, non compris la maçonnerie des souterrains, est de 51,000 mètres par kilomètre.

On compte jusqu'à huit souterrains, dont la longueur totale est de 4,600 mètres ; le plus long a 575 mètres.

Chemin de Newcastle à Carlisle. — Ce chemin, un des plus anciens de l'Angleterre, est long de 99,000 mètres.

Le profil présente deux rampes de Carlisle vers Newcastle, l'une de 9^{mm},5 sur une longueur de 6,200 mètres, l'autre de 5^{mm},5 sur une longueur de 5,500 mètres. Sur toutes les autres rampes ou pentes, l'inclinaison ne dépasse pas 5 millièmes.

Ce qui distingue surtout ce chemin des autres chemins anglais et en fait un sujet digne d'étude pour l'ingénieur, c'est le grand nombre de courbes de petit rayon que l'on a dû admettre pour lui tracer son passage à travers un pays assez accidenté. Plusieurs n'ont pas au delà de 400 mètres de rayon.

Les travaux de terrassement sur ce chemin sont importants. Le plus considérable de tous est la grande tranchée de Cowran, longue de 1,600 mètres, dont le cube a été de 700,000 mètres. M. Wishaw prétend qu'elle a été percée à forfait par un entrepreneur au prix minime de 85 centimes par mètre cube ; mais il faut observer qu'une partie seulement des terres a été portée en remblai dans l'axe du chemin ; le reste a été retroussé.

Parmi les ouvrages en maçonnerie du chemin de Carlisle, nous nommerons en première ligne le grand viaduc de Corby, qui traverse la rivière Eden à environ 5,500 mètres de Carlisle, à une hauteur de 30 mètres au-dessus du niveau des basses eaux. Ce viaduc est entièrement construit en grès rouge. Il se compose de 5 arches en plein cintre de 24 mètres d'ouverture, posant sur des pieds droits de 4^m,80 d'épaisseur.

Chemin de Malines à Cologne. — La Belgique, pays généralement plat et peu accidenté, se trouvait dans les circonstances les plus favorables à l'établissement des chemins de fer, et l'on a pu s'y imposer des conditions de tracé assez rigoureuses.

C'est ainsi qu'on a adopté, sur la presque totalité du réseau belge, 4 millimètres pour maximum des pentes à rampes, et 1,000 mètres pour rayon minimum des courbes ; cette dernière limite n'étant pas toutefois de rigueur dans le voisinage des stations.

Seule, la portion de la ligne de l'Est établie dans la vallée de la

Vesdre, et qui s'étend de la Meuse à la frontière prussienne, s'est trouvée soustraite aux conditions générales, tant par la grande hauteur à franchir dans un aussi court trajet (188 mètres sur 58 kilomètres environ) que par suite des nombreux accidents de terrain qui sont accumulés en cet endroit plus que sur aucun autre point de la Belgique.

Nous voulions d'abord, en nous conformant strictement à la classification que nous avons établie, décrire séparément la section de la Vesdre parmi les chemins à pente moyenne. Mais nous nous sommes décidé à considérer l'ensemble de la ligne de l'Est, par ce motif que la première section, de Malines à Ans, est parfaitement propre à donner une idée des autres chemins belges. Elle se trouve en effet dans les conditions communes, mais ce n'est pas sans quelque difficulté qu'on a pu l'y soumettre. Cependant elle présentait par elle-même trop peu d'intérêt pour nous occuper spécialement, et nous n'aurions eu d'ailleurs nulle autre part occasion d'en parler.

Les plans inclinés d'Ans à Liège, des détails desquels nous nous occuperons plus tard, trouveront ici naturellement leur place au point de vue du tracé.

Enfin, nos lignes de démarcation étant ainsi enfreintes une première fois, nous n'avons plus vu d'obstacle à décrire ainsi comme complément le chemin rhénan, qui fait suite, sur le territoire prussien, à la ligne belge de l'Est, et qui présente quelques particularités remarquables.

De Malines à Wespelair, on descend quelque temps, mais de 1 mètre seulement, puis on s'élève vers Ans d'une manière continue jusqu'à une légère contre-pente que l'on rencontre avant Tirlemont.

On passe ainsi à Louvain, à Tirlemont, à Landen, à Warremens, et l'on arrive à Ans, c'est-à-dire à 86 mètres environ au-dessus du point de départ.

A mesure qu'on s'éloigne de Malines, les accidents de terrain se multiplient et deviennent plus considérables; aussi le chemin de fer est-il presque continuellement tracé en courbe. Entre Malines et Louvain, sur une longueur de 25,600 mètres, on trouve encore deux grands alignements, l'un de 10,000 mètres environ, l'autre

de 4,000 mètres. Mais, entre Louvain et Waremme, sur une longueur de 42,840 mètres, les courbes se succèdent presque sans discontinuité, sauf deux alignements de près de 5,000 mètres. De Waremme à Ans, distants l'un de l'autre de 19,670 mètres, le railway, se maintenant sur le plateau supérieur de la chaîne qui sépare la Meuse de l'Escaut, ne présente au contraire que deux courbes et trois alignements de 5 à 10 kilomètres.

Quoique cette section ait dû traverser un pays déjà plus accidenté que n'en rencontrent les autres lignes, elle s'est pourtant tenue, comme nous l'avons dit plus haut, à peu près dans les conditions générales.

Une seule pente présente le chiffre de 0^m,0042; une seule courbe a son rayon au-dessous de 1,000 mètres : c'est celle qui se trouve à la sortie de la station de Malines, et qui n'a que 500 mètres de rayon sur 426 mètres de développement.

Le plateau qui se termine au village d'Ans, situé à 4,000 mètres de la Meuse, et qui forme en quelque sorte un des faubourgs de la ville de Liège, est élevé de 118 mètres au-dessus du lit de la Meuse, et pourtant la station, qui est à son extrémité orientale, n'est éloignée du fleuve que de 4 kilomètres.

Une différence de niveau si considérable ne pouvait être franchie dans un aussi court espace sans qu'on fût obligé de sortir des conditions de pente et de courbure qu'on s'était imposées; toutefois des études multipliées furent d'abord faites dans plusieurs directions pour s'assurer s'il n'était pas possible de descendre vers la Meuse par un tracé développé de manière à ne pas dépasser une pente de 5 millimètres.

L'examen des divers tracés qui furent présentés et qui comprenaient des remblais de 17, 20, 24, 29 mètres de hauteur, des viaducs au-dessus du chemin hauts de 42, 50 et 77 mètres, fit renoncer à ce projet et adopter définitivement la descente au moyen de plans inclinés desservis par des machines fixes.

La dénivellation totale est rachetée par deux plans inclinés en ligne droite de 1,980 mètres de longueur, réunis par une courbe horizontale de 550 mètres de rayon, de sorte que chacun d'eux est précédé et suivi d'un palier. Leur pente maxima est de 5 centi-

mètres, mais le passage de l'horizontale à cette inclinaison extrême a lieu insensiblement au moyen de pentes intermédiaires, de la manière suivante :

PLAN SUPÉRIEUR.

Longueurs.	90 mètr.	Pentes.	0,015	Hauteur franche.	1 ^m 55
—	1,150 —	—	0,050	—	54 50
—	628 —	—	0,028	—	17 58
—	112 —	—	0,014	—	1 57
Longueur totale. 1,980 mètr.		Pente moyenne. 0,0285		Hauteur totale. 55 ^m 00	

PLAN INFÉRIEUR.

Longueurs	80 mètr.	Pentes.	0,015	Hauteur franche.	1 ^m 20
—	1,275 —	—	0,050	—	58 19
—	489 —	—	0,028	—	15 69
—	158 —	—	0,014	—	1 92
Longueur totale. 1,980 mètr.		Pente moyenne. 0,0285		Hauteur totale. 55 ^m 00	

Il paraît qu'on aurait pu arriver à Liège dans les conditions ordinaires, en quittant le tracé actuel à Waremme, et en se dirigeant de là vers la Meuse par la vallée de la Jaar. Mais ce projet eût amené le chemin sur le territoire hollandais, et, s'il fut jamais mis en avant, il dut être écarté par des considérations politiques.

Du pied des plans inclinés, le chemin se dirige horizontalement jusqu'à la Meuse, qu'il franchit à environ 8 mètres au-dessus des eaux moyennes sur un grand pont dit du Val-Benoit. Il a cinq arches, de 20 mètres d'ouverture chacune. Sa longueur totale est de 150 mètres. Il donne à la fois passage au chemin de fer, aux voitures et aux piétons.

Ici commence le tracé de la Vesdre.

Deux systèmes se présentaient pour s'élever du fond de la vallée de la Meuse jusqu'au plateau d'Eupen, où se trouve la frontière de Prusse : celui d'une rampe forte et continue, et celui de pentes douces réunies par des plans inclinés avec machines fixes.

Après avoir discuté les divers projets présentés pour le tracé de cette section, après avoir envoyé en Angleterre une commission

d'ingénieurs pour y examiner en détail les divers railways à fortes pentes et à plans inclinés qui y sont en exploitation, on a adopté le premier système, celui des rampes fortes et continues.

L'inclinaison moyenne est de $0^m,00494$; mais les rampes les plus ordinaires sont $0^m,005$ et $0^m,006$, et l'on en peut citer de $0^m,008$ et $0^m,009$. La rampe de 9 millimètres n'a été adoptée qu'en un seul point et sur une petite longueur, 334 mètres. On l'a substituée à un plan incliné primitivement projeté à la station de Verviers. Les rayons des courbes atteignent quelquefois 1,400 et 1,500 mètres, mais le plus souvent ils sont au-dessous de 1,000 mètres, et descendent à 700, 600 et même 480 et 520 mètres.

Les tableaux suivants offrent un résumé des rampes et des courbes employées dans cette section.

1^o TABLEAU DES INCLINAISONS ET DES LONGUEURS CORRESPONDANTES.

INCLINAISONS.			LONGUEURS			RAPPORT DES COURBES AUX ALIGNEMENTS.	OBSERVATIONS.
PENTES.	RAMPES.		TOTALE.	ALIGNEMENTS.	COURBES.		
	mini- mum.	maxi- mum.					
»	mm. de 5	à 4	11,692	5,744	5,948	1,05	Courbes de 800 à 1,500 m.
»	5	5,1	5,505	204	3,099	15,20	Id. 900 à 1,000
»	5	2	604	»	604	»	Id. 2,000
»	6	5,5	1,769	306	1,463	4,78	Id. 1,000
»	5,5	6,8	1,588	695	895	1,28	Id. 1,000 à 1,400
»	6	6	4,270	1,971	2,299	1,17	Id. 500 à 1,200
»	6,7	6,7	490	490	»	»	Id. »
»	»	»	260	260	»	»	Palier. »
»	5	4	1,695	388	1,505	5,62	Courbes de 520 à 1,600
»	6	6,9	2,757	401	2,636	26,10	Id. 700 à 2,000
»	5,1	5,8	2,778	766	2,012	2,62	Id. 600 à 600
»	9	9	534	534	»	»	Id. »
»	7,1	5	655	»	655	»	Id. 520 à 480
»	7	»	187	187	»	»	Id. »
»	8	»	5,854	429	5,405	7,95	Id. 600 à 1,000
»	6	»	1,159	25	1,154	45,56	Id. 708 à 1,100
2,7	»	»	681	645	58	0,06	Id. »
»	»	»	38,052	12,545	25,489	»	»

2^e TABLEAU COMPARATIF DES COURBES PAR LEURS RAYONS, LEUR NOMBRE
ET LEUR DÉVELOPPEMENT MOYEN.

NOMBRE DES COURBES.	RAYON.	DÉVELOPPEMENT TOTAL.	DÉVELOPPEMENT MOYEN.
10	2,000 à 1,100	6,952	695
10	1,000	5,159	516
4	900	4,411	1,025
2	800	1,455	726
6	700	5,904	651
1	650	550	550
2	600	1,600	800
1	500	585	585
1	480	276	276
2	320	919	460
59	"	25,484	651
57	Alignements.	12,545	540

On voit, d'après les tableaux qui précèdent, que jusqu'à 680 mètres de la frontière le chemin s'élève d'une manière continue à 188 mètres de hauteur, puis redescend de 1 mètre environ, et se trouve ainsi à 187 mètres au-dessus du point de départ, après un parcours total de 58,052 mètres. Sur cette longueur, les parties courbes occupent un développement deux fois et demie plus grand que celui des alignements. Cependant les fortes pentes et les courbes roides et multipliées n'ont pas suffi pour triompher des accidents du terrain; il a fallu en outre traverser dix-sept fois la même rivière, la rejoindre, et percer dix-huit souterrains de 50 à 657 mètres de longueur. Parmi les ponts, celui de Dolhain est remarquable : il a vingt arcades de 10 mètres d'ouverture et de 17 ou 18 mètres de hauteur.

Le chemin Rhénan, qui va de la frontière et de la petite ville d'Eupen à Cologne par Aix-la-Chapelle, Eschweiler et Düren, a été construit dans des conditions à peu près analogues à celles des chemins belges.

L'inclinaison maxima est de 0^m,005, et l'on n'en trouve pas trois

aussi fortes. L'une est une rampe de 162 mètres de long au sortir d'Aix. Les deux autres sont des pentes de 204 mètres chacune. On arrive à Aix par un plan incliné à machine fixe. Mais on aurait pu l'éviter, si l'on n'avait expressément tenu à passer par Aix, et si l'on était descendu en pente directe sur Düren.

Quant aux courbes, il n'y en a qu'une seule de 800 mètres de rayon après la station d'Eschweiler. Sur tout son parcours de 82 kilomètres, le chemin descend d'une manière presque continue, car il n'y a en tout que cinq rampes assez courtes. La pente moyenne est de 2^{mm},46 seulement.

Entre la frontière et la Roër, le tracé est très-sinueux, à cause du grand détour fait pour passer à Aix, ville de première importance, et à Eschweiler, bassin houiller très-abondant. Après quoi on trouve des alignements dont les plus grands sont de 4,500 à 5,000 mètres; la longueur la plus ordinaire étant de 2,000 mètres. Plus loin, on en rencontre de 15,000 mètres et même de 25,000 mètres. Ces deux derniers, réunis par une courbe de 6,000 mètres de rayon, forment l'arrivée à Cologne. La plus grande difficulté que l'on ait eu à surmonter dans l'exécution de ce chemin a été de franchir le faite qui sépare l'Erft du Rhin. On n'a pu y parvenir qu'en perçant un souterrain de 1,620 mètres dans des terrains difficiles, aux environs de Königsdorf.

Chemin de l'Ouest (Suisse). — Bien que le chemin de Genève à Versoix ne soit pas construit par la Compagnie de l'Ouest (Suisse), nous comprendrons sous le nom de chemin de l'Ouest (Suisse) toute la ligne qui a été établie dans les cantons de Genève et de Vaud, depuis Genève jusqu'à la frontière du Valais, ainsi que celle depuis longtemps construite de Morges à Yverdon, avec prolongement vers le nord de la Suisse.

Le chemin de Genève à Lausanne, portion importante de cette ligne construite sur la rive droite du lac Léman, suit le flanc d'un coteau assez ondulé. La partie que traverse le chemin de fer présente en général une pente douce vers le lac. Quelquefois cette pente devient insensible, et le terrain offre l'aspect d'un plateau ou même d'une vallée parallèle à celle du lac, séparé de celle-ci par un faite longitudinal très-sensible. Presque partout, le versant, qui descend

du Jura vers le Léman, est sillonné par des vallées, par des ravins et par de simples plis perpendiculaires au lac, nécessitant l'exécution de nombreux ouvrages pour l'écoulement des eaux.

La distance de Genève à Lausanne, mesurée suivant l'axe du chemin de fer, est de 60 kilomètres et demi.

Celle de Lausanne à la frontière du Valais est de 52 kilomètres. Le chemin se prolonge de la frontière du Valais jusqu'à Sion. Il est en construction de Sion au pied du Simplon.

La pente maxima est de 4 centimètre. Le rayon des courbes ne descend que par exception à 400 mètres. En général il est de 1,000 mètres.

De Genève à Saint-Maurice on rencontre trois ouvrages d'art d'une certaine importance : le viaduc en pierres, sur l'Aubonne, qui a 155 mètres de longueur sur 52 mètres de hauteur; celui de la Paudèze, de 180 mètres de longueur sur 25 mètres de hauteur; un pont provisoire en bois est jeté sur le Rhône à Saint-Maurice. On trouve aussi entre Lausanne et Villeneuve plusieurs souterrains. La longueur du plus grand ne dépasse pas 500 mètres. De Genève à Lausanne ce chemin n'a pas présenté de difficultés exceptionnelles. Mais, de Lausanne à Vevey, on a été obligé d'exécuter de grands travaux de soutènement pour se maintenir le long des coteaux qui bordent la voie. De Vevey à Villeneuve, on a été forcé d'ouvrir de grandes tranchées dans le flanc des coteaux.

En résumé, on remarque que, sur le chemin de l'Ouest (Suisse), on a été conduit à adopter la pente de 4 centimètre comme pente normale, tandis que, sur la plupart de nos grandes lignes en France, cette pente n'a été admise qu'exceptionnellement, et concentrée sur une partie du parcours.

CHEMINS A FORTES PENTES.

Les chemins de fer que nous avons encore à passer en revue ne se présentent plus avec les mêmes caractères que ceux précédemment étudiés. Ils ne sont plus, comme ces derniers, souvent parallèles à des voies navigables; ils ont été, au contraire, généralement

établis dans des localités où il n'existait pas de voies navigables naturelles, et où il était presque impossible d'en pratiquer d'artificielles. Leur tracé n'admet pas toujours l'emploi des machines locomotives dans toute la longueur de la ligne. Les moteurs varient avec l'inclinaison, qui dépasse quelquefois la limite sur laquelle les locomotives peuvent marcher avec avantage. Les plans inclinés à machines fixes et les plans automoteurs alternent avec les plans horizontaux. En quelques heures, dans certains cas, sur une même ligne (chemin de Hetton), on peut faire une étude complète des moteurs divers usités sur les railways.

Nous décrirons d'abord plusieurs chemins construits depuis longtemps, et dont la plupart ont pour objet principal le transport du charbon. Nous traiterons ensuite des chemins construits récemment, sur lesquels le service se fait exclusivement avec des locomotives.

Chemin de Birmingham à Gloucester. — Ce chemin, embranché sur celui de Londres à Birmingham, se réunit à Cheltenham au chemin de Cheltenham à Oxford.

Il est courbe sur presque toute sa longueur, qui est de 72,500 mètres. Les plus petites courbes, qui se trouvent aux points d'arrivée et de départ des stations principales, ont 1,600 mètres de rayon.

Les pentes varient entre 0 et 5,5 millièmes. A la sortie de la station de Birmingham, on trouve un plan incliné long de 5,200 mètres, dont l'inclinaison est de 0^m,027, et, à peu de distance du point de jonction avec le chemin de Londres à Birmingham, une pente de 0^m,012 sur 1,600 mètres de longueur.

Le plan incliné de Bromgrave est desservi par de puissantes machines américaines.

Chemin de Hetton. — Hetton est un petit village sur le terrain houiller de Newcastle, près duquel ont été ouverts plusieurs puits de mine servant à l'extraction d'une quantité considérable de charbon.

Toute la houille provenant de ces puits, dont la production est de 500,000 tonnes par an, est transportée par le chemin de fer au port de Sunderland à l'embouchure de la Wear. C'est uniquement dans le but de rendre profitable l'exploitation de la mine de Hetton que ce chemin a été établi par M. Stephenson, frère du célèbre

ingénieur du chemin de Liverpool. Il a été posé à la surface du sol presque sans aucun terrassement. Si on en étudie le profil, on verra qu'à partir des mines, sur une longueur d'environ 1,500 mètres, le railway est à peu près de niveau ; il descend seulement de 7 mètres sur toute la longueur ; mais, arrivé au pied d'une colline, il la gravit presque en ligne droite par trois plans inclinés successifs, puis il descend sur l'autre revers, du côté de Sunderland, par quatre plans automoteurs, séparés les uns des autres par des paliers de 300 à 400 mètres de longueur, et enfin, du pied de la colline, il est faiblement incliné jusqu'à Sunderland, où se trouvent de nouveaux plans automoteurs et les embarcadères.

Nous avons fait le voyage sur un wagon chargé de houille jusqu'à Sunderland. La première partie du chemin est rapidement parcourue au moyen de machines locomotives ; mais le mouvement se ralentit dès que les wagons sont attachés au câble remorqueur pour gravir la colline. Parvenu au point culminant, on est lancé vers Sunderland sur les plans automoteurs avec une vitesse qui s'accroît au point de devenir effrayante.

Sur chacun des paliers qui séparent les plans automoteurs, les convois sont détachés d'une corde pour être attachés à une autre. C'est vraiment chose merveilleuse que l'adresse et l'agilité des hommes qui changent les cordes. En quelques minutes, vous avez franchi les quatre plans automoteurs. Vous les quittez pour descendre encore par l'impulsion de la gravité ; mais alors le poids des chariots chargés de houille qui vous portent ne suffit plus pour faire monter les chariots vides en sens contraire : ceux-ci sont remorqués par une machine fixe au moyen d'une corde que les chariots pleins traînent derrière eux. Enfin, vous vous trouvez de nouveau sur un terrain à peu près horizontal. Ce n'est plus cependant une machine locomotive qui vous conduit à Sunderland : les wagons sont remorqués par une machine fixe, et les chariots sont attachés à deux cordes, l'une qui les traîne, l'autre qu'ils traînent ; l'une qui les emmène chargés de houille, l'autre qui doit les ramener vides.

A Sunderland, le spectacle change. Le chemin de fer, au pied du plan automoteur qui conduit aux rives de la Wear, se subdivise en plusieurs branches aboutissant à autant de débarcadères. Trente

ou quarante grands leviers, d'immenses bras en bois placés sur le bord de la Wear, saisissent les wagons, les déposent avec leurs charges sur les bâtiments qui couvrent la rivière, puis se relèvent majestueusement en reportant le wagon vide sur le chemin de fer. On les voit, ouvriers infatigables, continuellement s'abaisser et se redresser sans jamais s'arrêter, et ce qui paraît extraordinaire, c'est qu'aucune machine ne leur communique le mouvement. C'est le wagon seul qui, arrivé sur une petite plate-forme portant un chemin de fer et suspendu à l'extrémité du levier, entraîne ce levier et descend par son poids. Un contre-poids, caché par une charpente, produit ensuite le mouvement du levier en sens inverse et fait remonter le wagon vide.

Les convois parcourent la distance totale de Hetton à Sunderland en 1 heure 25 minutes, et chaque wagon se vide sur le bateau en 1 minute $\frac{1}{2}$.

Chemin de Darlington à Stockton. — Les mines de houille desservies par le chemin de Hetton et les chemins voisins sont toutes ouvertes à peu près au milieu du terrain houiller de Newcastle, dans une partie où les couches gisent à une grande profondeur. Les puits nécessaires pour atteindre ces couches traversent des terrains dans lesquels filtrent de véritables fleuves souterrains; ils coûtent souvent des sommes énormes. Au sud et au nord du bassin, les couches se relèvent de telle sorte, qu'on peut les exploiter près de leur affleurement à une distance du sol beaucoup moins considérable. Le charbon est de moins bonne qualité qu'auprès de Hetton, mais il coûte moins cher. C'est pour ouvrir un débouché à ces mines, placées dans la partie méridionale du comté de Durham, que l'on a construit le chemin de Darlington à Stockton. Ce chemin, malgré le nom qu'il porte, commence à 19 kilomètres environ au nord-ouest de Darlington, mais il passe à une petite distance de Darlington, et près de Stockton il se subdivise en deux branches, l'une qui aboutit au port de Stockton, l'autre à celui de Middlesborough.

Sa longueur totale est de 40 kilomètres; l'embranchement de Middlesborough a 6 kilomètres $\frac{1}{2}$ de longueur.

On remarquait encore, il y a quelques années, dans le voisinage

des mines, quatre plans inclinés adossés deux à deux. Les deux premiers servaient à franchir la colline d'Étherley, qui sépare la rivière Wear de la rivière Gaundles, l'une de ses branches; les deux autres étaient établis sur le montant de Brusselton.

Des machines fixes, placées au sommet des deux collines, remontaient les wagons.

Du monticule d'Étherley au monticule de Brusselton, dans la vallée qui les sépare, comme la distance est fort courte, le transport s'opérait au moyen de chevaux; du pied du plan de Brusselton jusqu'au port de Middlesborough, la pente descendant toujours vers la mer est très-variée, mais elle ne dépasse pas 96 millièmes. Les circuits n'ont quelquefois que 200 à 500 mètres de rayon.

Le transport s'effectue aujourd'hui, sur cette partie de la ligne, exclusivement avec des machines locomotives.

Lors de l'établissement du chemin de fer de Darlington, en 1822, on était loin de compter sur l'activité des relations auxquelles cette nouvelle voie de communication a donné naissance; aussi se borna-t-on à poser une seule voie. On ne s'inquiéta guère de rendre les pentes uniformes et d'adoucir les circuits, et on fit usage presque exclusivement de chevaux pour les transports sur les parties dont la pente n'atteignait pas 1 centième. En 1828, M. le chevalier Masclet n'indiquait, dans un Mémoire publié par le *Journal du Génie civil*, que deux machines locomotives employées sur le chemin de Darlington. Lorsque, un peu plus tard, MM. Dechen et d'Einhäusen, officiers des mines de Prusse, visitèrent le même chemin, la Compagnie possédait six machines. En 1855, nous en avons compté vingt-trois.

La circulation sur ce chemin continuant à augmenter, on a, depuis quelques années, percé deux souterrains afin de supprimer les plans inclinés, et l'on effectue le transport des mines jusqu'au port au moyen de locomotives.

Chemin de Cromford à Peakforest. — Ce chemin de fer est l'un des moins connus et des plus originaux de l'Angleterre; il a été établi au milieu d'une des parties les plus montueuses de ce pays, et passe sur la cime la plus élevée du Derbyshire.

On s'élève jusqu'au point culminant, d'un côté comme de l'autre, par une série de plans inclinés dont l'inclinaison atteint quelquefois 11 centimètres.

Une partie, qui est à peu près de niveau sur environ 20,110 mètres de longueur, est parcourue par des chevaux. Le chemin est alors tracé sur le revers de la montagne, et en suit toutes les sinuosités en faisant des circuits de 200 mètres de rayon ; les wagons, pour tourner facilement dans les circuits, ont un essieu pour chaque roue.

Sur les plans inclinés du chemin de Cromford, on ne se sert pas de cordes, comme sur la plupart des autres chemins de fer : on a préféré par raison d'économie l'usage des chaînes ; et, comme il leur arrive souvent de se rompre, les accidents sont fréquents.

C'est ce qui a déterminé l'autorité à défendre le transport des voyageurs sur cette ligne ; quelques-uns cependant montent, au risque de leur vie, sur les wagons de marchandises.

Ce railway n'a coûté que 100,000 fr. par kilomètre. Destiné principalement au transport des marchandises de Manchester vers Nottingham, ou dans la direction contraire, il est de moitié moins long que la voie navigable. Cependant le tonnage y est presque nul, et les actions ont perdu toute leur valeur.

Anciens chemins de Saint-Étienne à Andrezieux et à Roanne.

— Trois chemins de fer partent de Saint-Étienne et ont été établis dans le but d'ouvrir un débouché au riche bassin houiller au centre duquel se trouve cette ville.

Celui de Saint-Étienne au petit port d'Andrezieux sur la Loire a été le premier construit en 1825. Celui de Saint-Étienne à Lyon a été commencé en 1826, et le chemin de Saint-Étienne à Roanne en 1828. Le charbon transporté sur le premier de ces railways à Andrezieux est embarqué sur la Loire pour être dirigé directement sur le Nivernais ou sur Paris, par les canaux de Briare et du Loing et la Seine ; mais la Loire n'est navigable, d'Andrezieux à Roanne, que pendant un petit nombre de jours chaque année, lors de ses grandes crues. Le chemin de Saint-Étienne à Roanne, parallèle sur une grande partie de sa longueur au cours de la Loire, a été établi pour suppléer à cette navigation imparfaite. Quant au chemin de

Saint-Étienne à Lyon, il est destiné à transporter la masse énorme de charbon qui descend de Saint-Étienne ou de Rive-de-Gier vers le Rhône, et à desservir la circulation des voyageurs entre Saint-Étienne et Lyon.

Le tracé du chemin de Saint-Étienne à Andrezieux, déterminé lorsque l'on commençait à peine à s'occuper sérieusement de la construction de grandes lignes de chemins de fer, est très-défectueux, et ne mérite, par conséquent, en aucune manière de fixer notre attention. Il serait injuste cependant de ne pas reconnaître le service qu'a rendu au pays feu M. Beaunier, inspecteur divisionnaire des mines, qui en est l'auteur, en introduisant pour ainsi dire en France ce nouveau genre de voie de communication. Tout autre ingénieur, à l'époque où il construisit le chemin d'Andrezieux, fût tombé dans les mêmes fautes.

Le tracé du chemin de Saint-Étienne à Lyon présentait d'immenses difficultés. De Saint-Étienne à Rive-de-Gier la distance n'est que de 21,000 mètres, et la différence de niveau est d'environ 500 mètres. Il fallait traverser la chaîne qui sépare le bassin de la Loire de celui du Rhône, et descendre vers Rive-de-Gier par une vallée rapide sur les berges de laquelle il n'était pas aisé de se développer. De Rive-de-Gier au bord du Rhône, on était encore obligé de suivre une vallée très-roide et de plus fort étroite. Heureusement l'activité présumée de la circulation permettait, commandait même de ne pas reculer devant la dépense pour obtenir la plus grande viabilité possible. On perça un souterrain de 1,500 mètres pour traverser la chaîne qui sépare Saint-Étienne de Rive-de-Gier, et, au moyen de remblais ou de tranchées, on régla la pente de manière à la rendre uniforme de Saint-Étienne à Rive-de-Gier. De Rive-de-Gier au Rhône, on suivait une vallée moins rapide, mais plus étroite. On se ménagea encore une pente uniforme en traversant les contre-forts par des souterrains ou des tranchées, et en se tenant à mi-côte par des remblais considérables. De Givors à Lyon, le chemin remonte le cours du Rhône en longeant ce fleuve avec une très-faible pente.

De Saint-Étienne à Rive-de-Gier, l'inclinaison est de 14 millimètres, de Rive-de-Gier à Givors de 6 millimètres $1/2$, et de Givors

à Lyon de 1/2 millimètre. Le rayon des courbes n'est jamais de moins de 500 mètres.

Avec un pareil tracé, rien de si facile que le trajet de Saint-Étienne à Lyon : les wagons descendent par l'impulsion seule de la gravité jusqu'à Givors ; il suffit d'en modérer la vitesse à l'aide des freins. De Givors à Lyon, le transport s'effectue avec les machines locomotives ; mais la descente des wagons ou voitures chargés est grevée des frais de remonte de la plus grande partie des véhicules à vide, et cette remonte devient très-dispendieuse, principalement entre Rive-de-Gier et Saint-Étienne. C'est un plan incliné de 21,000 mètres qu'il faut gravir. Sur une rampe aussi forte, l'emploi des locomotives et des chevaux est très-coûteux, et cependant l'inclinaison n'est pas assez grande pour admettre l'établissement d'appareils automoteurs. Le service des voyageurs serait d'ailleurs presque impraticable par ce dernier système et par celui des machines fixes.

On a reproché aux auteurs du tracé, MM. Brisson et Séguin, de n'avoir pas concentré la pente sur un plan incliné près de Saint-Étienne, pour descendre ensuite vers Rive-de-Gier par une pente plus douce, ou bien de n'avoir pas diminué l'inclinaison en se développant sur les berges de la vallée. Mais l'adoption du plan incliné eût entraîné les plus graves inconvénients pour le transport des voyageurs, et quiconque a visité le pays sait qu'il était à peu près impossible de réduire la pente à une limite avantageuse pour le service des locomotives sans faire des circuits non moins préjudiciables à la viabilité.

Disons donc, avec le célèbre ingénieur Stephenson, que le tracé du chemin de Saint-Étienne est une œuvre qui fait honneur à MM. Brisson et Marc Séguin : il n'appartenait qu'à des hommes de génie de concevoir un travail aussi hardi.

Le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon n'est cependant pas à l'abri de la critique comme ouvrage d'art. Sans expérience alors sur les conditions de solidité que doivent remplir ces nouvelles voies de communication, on l'a construit trop légèrement. Il est à regretter aussi que l'on n'ait pas donné aux grands souterrains une largeur suffisante pour loger deux voies. Mais la Compagnie du Grand-

Central, substituée aux anciennes Compagnies des chemins de Saint-Étienne à Lyon et de Saint-Étienne à Roanne, a exécuté des travaux ayant pour résultat de les placer dans les conditions ordinaires de largeur de voie et de solidité des ouvrages.

Le chemin de fer de Saint-Étienne, étant à deux voies sur la plus grande partie de son parcours, placé sur un terrain que l'on a payé fort cher (20,000 fr. l'hectare en moyenne), et comptant environ 4,000 mètres de souterrains sur une longueur totale de 57,000 mètres, a coûté 450,000 fr. environ le kilomètre.

Chemin de Saint-Étienne à Roanne. — Le chemin de Saint-Étienne à Roanne ne nous présente plus les pentes uniformes du chemin de Lyon à Saint-Étienne. A une longue portion presque entièrement de niveau succèdent plusieurs plans inclinés d'environ 5 centièmes de pente. Le service se fait avec des machines locomotives sur la partie de niveau, et avec des machines fixes sur les plans inclinés.

Devait-on, pour éviter les plans inclinés, exécuter de longs et coûteux souterrains? C'est ce dont il est permis de douter, quand on sait combien était faible le chiffre de la circulation sur ce chemin quelques années même après l'ouverture.

Les chemins de Saint-Étienne à Lyon, Saint-Étienne à Andrezieux et Roanne, ont été récemment reconstruits dans leur entier sur le modèle des lignes les plus nouvelles, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Michel.

Chemin d'Alais à Beaucaire. — On a souvent décrit les chemins de Roanne à Saint-Étienne et de Saint-Étienne à Lyon : aussi sont-ils généralement connus. Il n'en est pas de même du chemin d'Alais à Beaucaire, qui, placé dans des circonstances analogues, ne présente peut-être pas moins d'intérêt.

Nous allons en étudier le tracé ; nous décrirons également celui du chemin des mines de la Grand'Combe à Alais, et le tracé du chemin de Nîmes à Montpellier.

Le chemin des mines de la Grand'Combe à Alais quitte les mines par un plan incliné en ligne droite, de 686 mètres de longueur, rachetant une hauteur de 56^m,65 au moyen d'une pente graduée de haut en bas de la manière suivante :

Longueur.	100 mètr.	Pente.	0,095	Hauteur rachetée.	9,50
—	100 —	—	0,0875	—	8,75
—	100 —	—	0,085	—	8,50
—	86 —	—	0,0825	—	7,10
—	100 —	—	0,08	—	8,00
—	200 —	—	0,075	—	15,00

Longueur totale. 686 mètr. Pente moyenne. 0,085 Hauteur totale rachetée. 56,65

Puis, après un palier sur un viaduc de 40 mètres et une pente de 0^m,006 sur 178 mètres de longueur en courbe de 500 mètres de rayon, on arrive à un second plan incliné de 400 mètres ainsi gradué :

Longueur.	80 mètr.	Pente.	0,0525	—	4,20
—	80 —	—	0,05	—	4,00
—	80 —	—	0,0475	—	5,80
—	80 —	—	0,045	—	5,60
—	80 —	—	0,0425	—	5,40

Longueur totale. 400 mètr. Pente moyenne. 0,8475 Hauteur totale rachetée. 19,00

Après quoi, le chemin passe des plans inclinés à l'allure ordinaire par quelques pentes fortes, mais assez courtes, qui sont les suivantes :

0,015	sur	584	mètres.
0,008		60	»
0,012		441	»
0,005		5660	»

Cette dernière est en partie dans un souterrain de 177 mètres de longueur.

Puis, jusqu'à Alais, le chemin continue à descendre, mais par une pente qui ne varie qu'entre 2 et 4 millimètres.

Quant aux courbes, elles sont sans cesse de faible rayon. On en compte :

1 de 175 mètres de rayon et de 80 mètres de longueur.

1	200	—	570	—
1	220	—	496	—
5	250	—	450	mètres de longueur environ.
1	275	—	250	—
1	500	—	400	—

	2	de 350 mètres de rayon et de 400 mètres de longueur en moyenne.		
	1	425	—	521
	1	450	—	470
	10	500	—	200
	5	750	—	500

Une seule enfin de 966 mètres sur 145 de développement.

Les alignements sont rares et peu étendus; ils ont ordinairement 200 mètres environ, si ce n'est en approchant d'Alais, où l'on en trouve un de 716 mètres et un autre de 400 mètres.

Le chemin d'Alais à Beaucaire présente au début quelques courbes comparables aux précédentes, savoir :

	1	courbe de 400 mètres de rayon sur 218 mètres de développement		
	1	—	514	—
	1	—	461	—
				952
				295

Puis elles deviennent de 1,000, 1,400 et 1,500 mètres, et sont entremêlées de quelques alignements jusqu'un peu avant le souterrain de Ners, où il s'en trouve une de 700 mètres de rayon et de 500 mètres de développement, et une de 546 mètres de rayon sur 654 mètres de développement. Jusque-là les pentes se sont maintenues entre 1 et 4 millimètres, et on n'a rencontré qu'un seul palier de 560 mètres.

Le souterrain de Ners, de 1,500 mètres de longueur, fait partie d'une pente de 2^{mm},5. Elle est suivie d'un palier de 600 mètres à l'extrémité duquel se trouve le pont du Gardon. Ce pont a 222 mètres de longueur et 8 de hauteur au-dessus de l'étiage. Il est formé de 8 arches de 22 mètres d'ouverture. Après quoi la pente se reproduit toujours à peu près dans les mêmes limites jusques et au delà du rivage de Boncoiran, sous lequel le chemin passe par un petit tunnel. Puis vient une rampe de 5^{mm},5 sur 5,600 mètres de longueur, à laquelle succède un palier de 2,500 mètres. Enfin, à l'entrée d'une rampe de 6 millimètres sur 8,200 mètres de longueur, on arrive au viaduc de la Braune, de 200 mètres de long, de 14 mètres de haut, et composé de 16 arches de 10 mètres d'ouverture environ.

Quant aux courbes, elles se sont, depuis Ners, maintenues géné-

ralement au-dessus de 1,000 mètres, à l'exception de trois, dont une après Boncoiran, de 700 mètres de rayon sur 242 de développement, et deux auprès du viaduc de la Braune, de 750 mètres de rayon sur 576 mètres de développement.

Au sommet de la rampe de 6 millimètres au mas de Ponge se trouve un palier de 200 mètres, puis on redescend sur Nîmes avec une rampe de 12 millimètres sur 8,100 mètres de longueur.

On passe dans le cours de cette rampe sur le viaduc de la Tour-Magne, de 18 mètres de hauteur; sous la Tour-Magne, au moyen d'un petit tunnel; sur le viaduc du Mas-du-Diable, et l'on arrive à un palier de 1,400 mètres sur lequel se fait le raccordement avec le chemin de Nîmes à Montpellier.

De Nîmes à Beaucaire le tracé se trouve en plan dans les conditions les plus communes; il présente, à la vérité, une suite presque continuelle de courbes, mais celles-ci n'ont jamais plus de 1,000 mètres de rayon.

Quant au profil, il offre d'abord, sur une longueur totale d'environ 10 kilomètres, quelques pentes de 5^{mm},5, puis des rampes de même inclinaison, le tout entremêlé de paliers de 800 à 1,000 mètres. A l'issue de la dernière rampe on se trouve en palier sur 5,210 mètres, puis on redescend sur Beaucaire par une pente continue de 7 millimètres sur 7,690 mètres de longueur. On rencontre dans le cours de cette pente, en fait de travaux d'art :

1° le viaduc du Mas-du-Pauvre-Ménage, de 125 mètres de long, de 12 mètres de haut, et de 9 arches de 9 mètres d'ouverture;

2° Le souterrain de Beaucaire, de 500 mètres de longueur;

5° Enfin, le viaduc de Beaucaire, qui a 500 mètres de longueur, 11 mètres de hauteur, et qui est composé de 28 arches de 10 mètres d'ouverture chacune.

Ce chemin a été établi à simple voie sur toute sa longueur, qui est de 92 kilomètres. Il se tient le plus souvent au niveau du sol; aussi, quoique traversant un pays fort accidenté, n'a-t-il donné lieu qu'à de faibles terrassements et à des travaux d'art peu considérables, si ce n'est le viaduc de Beaucaire.

Le chemin de Nîmes à Montpellier s'embranché à une petite distance de Nîmes, sur celui d'Alais à Beaucaire, au moyen d'une

courbe de 1,000 mètres. Son tracé est des plus simples : il décrit un assez grand nombre de courbes, mais leurs rayons sont tous entre 1,500 et 1,000 mètres, et plutôt de 1,500 que de 1,000. On descend, à partir de Nîmes, jusqu'à 7 kilomètres de Montpellier, avec une pente presque continue, variant de 1 à 5 millimètres, puis on arrive à Montpellier par une rampe de 0^m,002. Là, le chemin se raccorde avec celui de Montpellier à Cette, au moyen de trois courbes et contre-courbes successives de 600 mètres de rayon et de 500 à 700 mètres de développement. Ce sont les seules courbes de rayon au-dessous de 1,000 mètres que l'on puisse citer.

Quant aux travaux d'art, il n'y en a point de remarquables, à moins qu'on ne veuille considérer comme tel le viaduc de la Galargues, composé de 28 arches, long de 200 mètres et haut seulement de 7.

L'embarcadère de Nîmes a cela de particulier, que le chemin y est établi sur les arcades à une hauteur de 10 mètres environ, et que les bureaux et salles d'attente sont situés au-dessous.

Chemin de Vienne à Trieste. — La grande ligne de Vienne à Trieste, d'une longueur totale de 629^k,60, dont 75^k,55 empruntés au chemin de Vienne à Gloggnitz, rencontre, au cœur des Alpes noriques, de sérieuses difficultés. Le chemin de Gloggnitz, prolongé sur le Schotwien, arrive au pied du Sømmering, le sommet le moins élevé des Alpes styriennes, celui que franchit la grande route de Vienne à Trieste en un point élevé de 1,014^m,15 au-dessus du niveau de la mer, et de 649^m,68 au-dessus de la vallée de la Mury. Il traverse cette chaîne de montagnes en la gravissant au moyen de pentes qui atteignent 25 millimètres et descend jusqu'à Gratz, capitale de la Styrie.

La discussion du projet pour la traversée du Sømmering¹ a présenté les mêmes phases qu'en Bavière pour le passage du Fichtelgebirge, et elle a abouti au même résultat : la locomotive est restée maîtresse du terrain; on a pu d'ailleurs se renfermer dans les mêmes limites pour l'inclinaison, mais à condition de répartir les rampes par des inflexions plus brusques et plus multipliées encore.

¹ Extrait des *Annales des mines*, article de M. Couche.

Le rayon de courbure descend jusqu'à 190 mètres; mais, sur rampe de 25 millimètres, il ne s'abaisse pas au-dessous de 285 mètres, et la longueur maxima de l'arc est de 585 mètres. Le chemin franchit la ligne de faite à 885 mètres au-dessus du niveau de l'Adriatique, à 462 mètres au-dessus de la station de Gloggnitz, distante de 28^t,8, et à 217 mètres au-dessus de la station de Murzzuschlag, éloignée de 12 kilomètres. Sur le versant nord, la hauteur rachetée par les 8 premiers kilomètres à peu près, c'est-à-dire de Gloggnitz à Payerbach, est seulement de 69^m,6; la pente moyenne, à partir de ce point jusqu'au sommet, est de 19 millièmes; elle est de 18 millièmes sur le versant méridional; la répartition des inclinaisons varie de 10 à 25 millièmes.

C'est seulement sur le versant nord que la limite de 25 millimètres est atteinte, et sur une longueur totale de 4,176 mètres. La plus longue de ces rampes, de 25 millimètres, précédée seulement par un court palier de 650 mètres, a un développement de 3,170 mètres. Le tracé du Sæmmering est donc, sous ce rapport, plus simple que celui du Fichtelgebirge, qui présente une rampe continue de 25 millimètres sur 5.400 mètres de long; mais aussi la hauteur totale à racheter est beaucoup plus grande au Sæmmering, le tracé est bien plus tourmenté en plan, et la puissance qu'on voulait obtenir des locomotives bien plus considérable. Il y avait un ensemble de conditions difficiles à concilier et de nature à entraîner des modifications plus ou moins profondes dans quelques-unes des dispositions essentielles des machines ¹.

Le prolongement de la grande ligne de Vienne à Trieste présentait au delà de Gratz des difficultés qu'on a réussi à vaincre, dit M. Couche, comme on l'espérait, avec un tracé bien plus favorable qu'au Sæmmering. Les rampes ne dépassent pas 16^{mm},5.

Les conditions sont plus satisfaisantes encore pour le difficile accès de la ville de Trieste. Les rampes n'excèdent pas 12 millimètres. Le chemin part du nouveau lazaret; l'emplacement de la gare,

¹ On avait adopté, en 1844, un projet qui limitait les inclinaisons à 0,01975 sur le versant nord et à 0,01998 sur le versant sud. Le tracé amendé est plus court de 2 kilomètres environ; il a surtout notablement simplifié les travaux d'établissement.

Notice sur les chemins de fer allemands en 1844, par M. Baumgarten.

parfaitement située d'ailleurs, est conquis à grands frais, d'un côté sur la montagne, et de l'autre sur la mer par les remblais. La ligne suit la côte, passe à Bouterolles, Santa-Croce, et arrive à Nebresina, où doit se détacher la ligne de Trieste à Venise. Cette section, de 15^k,8, dont les travaux sont poussés avec une très-grande activité, rachète une hauteur de 122^m,50, dont 418^m,80 sur 10^k,7. Les courbes sont très-multipliées; leur nombre s'élève à soixante-six, et leur développement à 6^k,2, c'est-à-dire aux deux cinquièmes de la longueur de la section; mais trois seulement de ces courbes atteignent la limite de 291 mètres, et toutes les autres ont des rayons beaucoup plus grands.

Le tracé primitivement adopté de Nebresina à Venise est remis en question, malgré l'importance attachée par le gouvernement au prompt achèvement de cette ligne.

Nous avons indiqué, page 153, les causes qui ont fait écarter ce tracé.

Les courbes ont en général 285 mètres de rayon; on en trouve une, au passage de Sæmmering, qui n'a que 190 mètres.

Le service se fait uniquement avec le matériel américain, propre au service des chemins à petites courbes, et avec un matériel spécial que nous décrirons.

M. Lechatelier pense qu'on aurait pu, en exécutant un tunnel, réduire les pentes pour les passages du Sæmmering à 10 millimètres par mètre, et qu'on a sacrifié, sans motifs bien décisifs, les intérêts de l'exploitation à l'économie des frais de premier établissement.

Il fait une observation semblable pour le chemin de Stuttgart à Ulm, où l'on aurait pu réduire de 22 à 10 millièmes la pente d'un plan incliné.

Le chemin du Sæmmering se trouvera prochainement en concurrence avec le chemin François-Joseph prolongé, qui, partant de Caniza, rejoindra Trieste sans avoir à franchir le faite élevé, de sorte que Vienne se trouvera en communication avec Trieste par un chemin de même longueur à peu près que celui de Sæmmering; mais beaucoup plus économique au point de vue de l'exploitation aussi bien qu'à celui de la construction.

Chemins saxo-bavarois : section de Neuenmarkt à Marktshor-gast ¹. — De Nuremberg jusqu'à Neuenmarkt, c'est-à-dire jusqu'au pied du Fichtelgebirge, montagne qui sépare les bassins du Main et de la Saale (un des affluents de l'Elbe), ce chemin ne présente, sauf des rampes très-courtes, que des inclinaisons de 5 millimètres au plus, et, à l'exception des stations, que des courbes de 292 mètres de rayon au moins.

Mais le terrain présente, à partir de Neuenmarkt jusqu'à la frontière saxonne, des difficultés telles, qu'on crut devoir s'arrêter d'abord à l'idée d'un chemin desservi par des chevaux. On ne tarda pas toutefois à reconnaître que cette solution modeste ne répondait nullement, même d'après les évaluations les plus modérées, aux exigences du trafic; d'ailleurs, on n'eût pas évité, même à ce prix, des travaux très-coûteux et hors de proportion avec le résultat obtenu. On se décida donc à étudier le tracé au point de vue de l'application du matériel américain.

Parmi les diverses directions étudiées dans l'avant-projet, une seule, la vallée du Streitmühl (ou Schwarzbach), pouvait se prêter à l'établissement d'un chemin de fer. Tout le terrain occupé par cette vallée, d'une largeur très-variable, fut levé par courbes horizontales, et ce travail préliminaire abrégea et facilita singulièrement les études de détail.

Plus on avançait dans cet examen, plus les obstacles semblaient grandir; un moment même le mode de traction fut de nouveau mis en question, et on revint, en désespoir de cause, à l'idée des plans inclinés à câbles.

Une circonstance particulière pouvait d'ailleurs justifier, jusqu'à un certain point, cette solution, quand même elle n'eût pas paru la seule possible. On avait constaté, sur les hauteurs qui dominent Rohresreuth, l'existence d'une source probablement assez abondante pour permettre l'établissement d'une balance d'eau, combinaison déjà proposée par l'ingénieur Robinson pour le chemin de Pottville à Danville (États-Unis); mais ce projet fut bientôt abandonné à son tour.

¹ Extrait de la 2^e livraison de 1852 des *Annales des mines*, Mémoire de M. Couche.

Indépendamment des inconvénients inséparables de la remorque des trains au moyen d'un câble, des doutes s'élevaient sur la constance du débit de la source qui devait alimenter la balance.

Ramenés de nouveau en présence de la locomotive comme seule solution acceptable, déterminés d'ailleurs, par une longue expérience du système américain et de ses inconvénients, à n'imposer au matériel aucune concession de ce genre, les ingénieurs bavaois ont déduit de la discussion des exemples connus les limites d'inclinaison et de courbures compatibles avec ces conditions, et dirigé leur tracé en conséquence.

La station de Neuenmarkt est située sur un palier de 3,304 mètres, et à 552^m,24 au-dessus du niveau de la Méditerranée. Le chemin présente, à partir de ce point, des rampes de 14 millimètres, 25 millimètres, 24^{mm},6 et 2^{mm},5, sur des longueurs respectives de 1,664, 2,498, 1,780 et 1,129 mètres, et atteint le palier de la station de Marktschorgast à la cote de 510 mètres. Une hauteur de 157^m,76 est donc rachetée sur un développement de 7,071 mètres (inclinaison moyenne, 22^{mm},3).

Les rayons de courbure varient entre 1,168 et 292 mètres; la dernière limite n'est atteinte qu'une seule fois, à l'entrée de la station de Marktschorgast, et sur 194 mètres de longueur; en outre, le rayon minimum est de 458 mètres.

Quant au profil, ce n'est pas par l'inclinaison, si inusitée qu'elle soit, c'est par la longueur jusque-là sans exemple de la rampe qu'il est surtout remarquable. Des rampes de 25 millimètres et au-dessus étaient, depuis plusieurs années déjà, desservies par des locomotives, mais leur longueur ne dépassait pas 3 kilomètres au plus. Sur une rampe deux fois plus longue, les conditions pouvaient être gravement modifiées. Suffirait-il encore d'aborder au pied de la rampe avec une machine bien préparée, la chaudière bien remplie de vapeur, le foyer bien rempli, le niveau d'eau très-élevé? Réussirait-on constamment à maintenir sur une pareille étendue la pression au degré nécessaire, à se mettre en garde contre les chances de ralentissement et d'arrêt, devenues bien plus graves en raison du développement de la rampe? La régularité du service serait-elle assurée en dépit de l'état des rails, de la direction et de l'intensité du

vent? Un succès accidentel, un succès d'expérience, n'était pas douteux; mais il y avait une véritable hardiesse à compter sur le succès de tous les jours.

L'établissement du chemin entre Neuenmarkt et Marktschorgast a exigé des travaux également remarquables par leur importance, par quelques particularités de construction, et par leur caractère parfaitement en harmonie avec la nature sévère et grandiose de cette contrée.

De Neuenmarkt jusqu'au pied de la montagne, c'est-à-dire sur une longueur de 1^k,66, le tracé suit à peu près la pente du sol; il entre en tranchée à 2 kilomètres au delà seulement sur 290 mètres de longueur et 8^m,80 de profondeur, mais dans un terrain de grauwacke et de schiste argileux très-dur qui a exigé l'emploi presque continu de la poudre. Le chemin se maintient à mi-côte entre les kilomètres 4 et 5, sauf la traversée de trois ravins très-profonds; mais il entre en tranchée d'une faible longueur (292 mètres), mais de 27^m,70, 12^m,50 et 16^m,60 de profondeur maximum, mesurée respectivement à partir des arêtes des talus et sur l'axe du chemin. L'ouverture de cette tranchée à travers un terrain de grauwacke et de schistes amphiboliques a entraîné de très-grandes dépenses de main-d'œuvre et de poudre. A partir de là jusqu'au palier de Marktschorgast, c'est à-dire sur une longueur de 2 kilomètres à peu près, les tranchées et les remblais se succèdent à des intervalles très-rapprochés; mais cependant, à cause des profondes coupures et des pentes abruptes du terrain, les hauteurs de déblai et de remblai mesurées sur l'axe atteignent encore respectivement 7^m,7 et 16 mètres.

La grande disproportion qui existe entre les cubes de déblai et de remblai, et la nécessité de réduire celui-ci au minimum (les emprunts exigeant l'ouverture de véritables carrières d'une exploitation dispendieuse), ont conduit à adopter un mode particulier pour la formation des remblais. Ce sont des ouvrages mixtes, participant à la fois des remblais proprement dits et des viaducs. Ils se composent d'un noyau formé des déblais meubles et en petits fragments, flanqué de deux murs en pierres sèches construits avec les fragments plus volumineux provenant aussi des tranchées, et main-

tenus eux-mêmes par deux murs de soutènement maçonnés en gros blocs de schiste micaçé provenant de deux grandes carrières situées près de Marktschorgast. Tout ce massif est profondément enraciné dans le sol, et repose sur le roc vif taillé en gradins. Les talus ne sont pas plans; les parements des murs de soutènement sont des surfaces cylindriques; la coupe verticale du parement extérieur est un arc de cercle de 41 mètres de rayon, dont le centre est à 9^m,64 au-dessus de la crête du remblai. L'inclinaison du talus sur la verticale est de 14° 50' au sommet, et atteint 45° à 18^m,40 au-dessous du niveau des rails; à partir de cette limite, quand la hauteur du remblai la dépasse, la tangente en ce point est substituée au prolongement de l'arc, pour éviter un empatement exagéré. Il va sans dire que cette disposition a été adoptée pour les parties à mi-côte comme pour les remblais complets.

Vers la partie supérieure, ce profil se rapproche de la logarithmique qui conduit, pour toutes les sections horizontales, à l'égalité de charge par unité de surface. Il s'écarte peu de la figure d'équilibre, pour le *glissement*, d'un massif homogène et doué de cohésion. Avec les talus plans, la stabilité d'un semblable massif décroît du haut vers le bas; pour qu'elle soit suffisante à la base, il faut qu'elle présente un excès de plus en plus grand vers le sommet.

La stabilité générale est donc, toujours en admettant l'assimilation à un massif homogène, sensiblement la même qu'avec des talus rectilignes ayant pour inclinaison celle de l'élément inférieur de l'arc; et la masse des ouvrages, ainsi que la largeur de terrains qu'ils occupent, est notablement réduite. Pour une hauteur de 18^m,40 par exemple, la largeur de l'emprise et la section du massif sont inférieures respectivement de 16 mètres et de 185^m²,56 à celles qu'exigerait un simple remblai, avec talus plans à 45°; et la largeur en couronne étant de 9^m,60, la largeur à la base et la masse de l'ouvrage sont réduites, l'une de 55, et l'autre de 56 pour 100.

Indépendamment de toute appréciation théorique, de toute hypothèse sur la forme des surfaces de rupture virtuelle, ce profil est justifié, au moins dans sa disposition générale, par l'observation

même des phénomènes que présentent souvent les remblais à talus plans et revêtus. Ces talus deviennent convexes, se roidissent beaucoup à la base, et cet accroissement d'inclinaison, joint à la dislocation des matériaux du revêtement, compromet la stabilité de toute la masse.

Un profil concave, avec une flèche notable, et un élément supérieur très-peu incliné sur la verticale, ne peut d'ailleurs s'appliquer qu'à des talus revêtus, ou tout au moins consolidés par des moyens artificiels : il suppose l'existence de la cohésion, qui est presque nulle dans les remblais naissants; et, fût-elle rétablie, elle ne résisterait pas longtemps à l'action de la pluie, des gelées, etc., action dont le profil théorique ne tient pas compte, et qui, sans altérer la figure d'équilibre, entraînerait l'éboulement graduel des talus¹. Une grande cohésion superficielle est du reste souvent indispensable, même pour les talus plans et beaucoup moins roides que le talus naturel; de sorte qu'une forme voisine de la figure d'équilibre pourrait sans doute être appliquée assez fréquemment, sans aggraver beaucoup les dépenses de consolidation ou d'assèchement, et dès lors avec une économie très-notable.

L'épaisseur de maçonnerie, tant en pierre sèche qu'en pierre de taille, est, au sommet, de 2 mètres sur chaque flanc; elle augmente graduellement avec la profondeur. Les joints sont normaux aux parements. Ces murs sont couronnés par de gros blocs de grès formant un parapet très-massif de 0^m,51 de haut et de 1^m,75 d'épaisseur. De nombreuses gargouilles débouchant sur les flancs assurent l'assèchement du noyau central.

Le cube total s'élève à 49,250 mètres pour la maçonnerie en pierre sèche, et à 40,590 mètres pour la maçonnerie de mortier; soit en tout 89,640 mètres pour les 7 kilomètres 71 mètres, ou en moyenne 12^{ms},6 par mètre courant.

Le plus remarquable des ouvrages de ce genre est celui qui a été exécuté pour le passage du Schützengraben, que le chemin de fer traverse à une hauteur de 52 mètres. L'épaisseur des murs, à la

¹ On sait que l'effet des dégradations de surfaces est précisément de mettre peu à peu en évidence la figure d'équilibre dans les remblais à talus rectilignes; ce phénomène a été observé depuis longtemps dans plusieurs tranchées

base, atteint 12 mètres, et celle de tout le massif, mesuré horizontalement, 52 mètres.

Le chemin saxo-bavarois est l'œuvre de l'ingénieur Kenitz.

Chemin de Brunswick à Harzbourg. — Ce chemin part de Brunswick et se développe, pendant une grande partie de son parcours, dans la plaine qui s'étend depuis le pied des montagnes du Harz jusqu'au littoral de la mer du Nord et de la mer Baltique; son profil ne présente des inclinaisons supérieures à 5 millièmes qu'aux abords de la station de Wissembourg à la limite de la plaine. A partir de cette station, le chemin gravit les premières pentes de la montagne en se tenant moyennement au niveau du sol; son inclinaison croit successivement jusqu'à 27^{mm},7, limite qu'elle atteint à la station de Harzbourg, placée à l'entrée d'une gorge profonde, à 8 kilomètres environ du sommet de Broken. Le tableau ci-joint donne la longueur et l'inclinaison des rampes qui se succèdent depuis Wissembourg jusqu'à la station de Harzbourg.

LONGUEURS.	INCLINAISONS.	
	Millimètres.	
141,5	0,2	} par mètre. Moyenne des inclinaisons, 12 ^m ,78.
1254,8	9,7	
2075,6	10,0	
1141,2	15,0	
1562,4	13,1	
1000,6	17,2	
228,2	10,2	
529,5	27,7	
156,9	5,0	} Stations.

Pendant les deux premières années d'exploitation, les locomotives se sont arrêtées à Wissembourg; les wagons étaient trainés par des chevaux jusqu'à Harzbourg. On ne tarda pas à reconnaître que ce mode d'exploitation n'était pas suffisant pour satisfaire à tous les besoins de la circulation, et, après quelques essais préliminaires faits avec les machines ordinaires, on commanda, en mai 1845, à Stephenson, deux machines à 6 roues couplées.

Depuis cette époque, ces machines font un service journalier assez actif et fonctionnent très-bien.

Chemin de Stuttgart à Ulm. — Ce chemin de fer, qui est établi à une seule voie sur toute son étendue, traverse les Alpes wurtembergeoises en rampe de $\frac{1}{4}$ (22 millimètres) sur un parcours de 6 à 7 kilomètres, avec des courbes de 260 mètres de rayon. On gravit cette rampe en se dirigeant de Stuttgart à Ulm. Dans l'autre direction, sur le versant opposé, en venant d'Ulm à Stuttgart, on s'élève, de la gare d'Ulm au sommet de la montagne, par des rampes de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ millimètres par mètre.

Les trains de voyageurs partent de Stuttgart avec une machine américaine. Au pied de la rampe, on ajoute une *machine à marchandises à 6 roues couplées*. Cette machine a ses roues en fonte pleine; elle pèse 55 tonnes.

Le diamètre des roues est de $1^m,160$.

Le diamètre des cylindres, $0^m,460$.

La course des cylindres, $0^m,660$.

Les cylindres sont extérieurs.

Leur écartement d'axe en axe = $2^m,080$.

La distance des roues d'axe en axe est de $5^m,200$.

Ces machines passent sans trop de difficultés dans des courbes de 260 mètres de rayon. Cependant l'usure des bandages paraît y être considérable.

Sur la rampe de 22 millimètres, ces machines remorquent un poids *brut* de 150 tonnes, avec une vitesse de 17 à 18 kilomètres à l'heure.

Pour gravir les rampes de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ millimètres, on se sert de deux machines ordinaires, soit mixtes, soit américaines; la vitesse est d'environ 25 kilomètres à l'heure. La descente de la pente de 22 millièmes se fait sans vapeur, les freins serrés; on marche régulièrement et à une très-faible vitesse.

Le chemin de Stuttgart à Ulm, ainsi que les autres chemins du réseau wurtembergeois, fait honneur au talent de M. l'ingénieur en chef Carl Etzel, ainsi qu'à celui de son digne collaborateur, M. Klein.

Central suisse. — Le chemin de fer Central suisse se compose de deux grandes artères, dont l'une relie Bâle à Lucerne, en passant par Liestal, Olten, Aarbourg et Sursée, et l'autre Aarau à Bienne,

en passant par Olten, Aarbourg, Herzogenbuchsée et Soleure. Une autre ligne, partant d'Herzogenbuchsée, se dirige sur Berne, pour de là rejoindre Thun d'un côté, et le chemin de Fribourg à Lausanne de l'autre, à la frontière bernoise près Thöinhans. La longueur totale en exploitation est de 252 kilomètres.

Ces deux tracés mettent le chemin Central de Suisse en communication directe, au nord, avec les chemins de France et du pays badois, à l'est avec les chemins de fer allemands qui débouchent sur le lac de Constance; au midi et à l'ouest, avec le centre de la Suisse, les cantons de Vaud, de Genève, du Valais, et l'Italie.

Le tracé adopté par les ingénieurs de la Compagnie, à la tête desquels se trouva M. C. Etzel, n'a rencontré de très-sérieuses difficultés que dans la traversée du Jura, entre Sissach et Olten; de Bâle à Sissach, le maximum des pentes est de 1 centimètre. Au delà de Sissach, le chemin s'élève le long du flanc de la montagne de Hauenstein, en franchissant avec beaucoup de hardiesse de profonds ravins, coupant en souterrains deux contre-forts près du village de Buckten, traversant le village de Laueffelingen, et conservant jusqu'au point culminant de son profil, sur une longueur de 9,300 mètres, une rampe uniforme de 20^{mm},8, sauf un palier de 300 mètres situé vers son milieu, et réservé pour la station de Sommerau. Au sommet de ce plan incliné, à 515 mètres au-dessus du Rhin à Bâle, se trouve la station de Laueffelingen, qui précède l'entrée du souterrain de Hauenstein; ce tunnel, dont la longueur est de 2,500 mètres, descend vers la vallée de l'Aare, en conservant dans toute son étendue une pente de 26^{mm},4. C'est en débouchant du tunnel, sur le versant oriental du Jura, que le voyageur venant de France aperçoit pour la première fois, et peut, si le temps est favorable, embrasser dans leur ensemble les hautes montagnes de la Suisse centrale, depuis les pics neigeux de l'Oberland bernois jusqu'aux sommets dentelés du canton d'Appenzell.

Au delà du tunnel, la ligne descend avec une pente de 25 millièmes sur 5,600 mètres jusqu'à la rivière de l'Aare, qu'elle traverse sur un beau pont avec trois arches en fer, puis gagne par un palier la station centrale d'Olten.

L'embranchement qui conduit d'Olten à Aarau est presque ho-

horizontal. Sur cette section, il a pour ainsi dire suffi de poser le ballast sur le sol sans autre travail préparatoire. Le chemin touche Aarau, en traversant en tunnel la montagne sur laquelle cette ville est assise, et vient se souder sur ce point au chemin du Nord-Est.

La ligne principale, partant d'Olten, poursuit sa route vers Lucerne en remontant, par des pentes douces, la vallée de la Vögger jusqu'à la station de Sursée, où elle s'infléchit à l'est, passe au bord du petit lac de Sempach, et dessert la station de ce nom, ensuite elle franchit un faite dont le point culminant (293 mètres sur Bâle) est près de Rothenburg.

Depuis Olten, l'inclinaison ne dépasse pas 10 millièmes; mais, à partir de ce point, la ligne descend vers la vallée de l'Emme sur une pente de 16 millimètres, ayant 7,600 mètres de longueur, franchit la petite Emme sur un pont de fer de 105 mètres d'ouverture à quatre travées, et s'arrête près du pont de Lucerne, à côté du débarcadère des bateaux à vapeur qui naviguent sur le beau lac des Quatre-Cantons.

La partie du pont de Lucerne jusqu'à Lucerne, serrée entre la Reuss, la route et la montagne, a rencontré beaucoup d'obstacles qui ont exigé des travaux coûteux, en outre un souterrain à Lucerne, de 270 mètres.

Les autres parties du tracé du réseau Central suisse n'offrent aucun autre point où l'on ait rencontré des difficultés un peu sérieuses, si ce n'est le souterrain de la Sommerhalde, de 480 mètres, le pont de la grande Emme à Berthoud, et l'entrée de Berne, où le chemin franchit l'Aare sur un pont en fer de 45 mètres de hauteur et de 160 mètres d'ouverture en trois travées.

En plan, le tracé du Central est heureusement combiné en ce qui concerne les alignements droits et les courbes, qui sont en proportion de 70 pour 100 de longueur totale pour les premiers; et de 50 pour 100 pour les autres. La pente moyenne est de 5^{mm},9.

Le rayon des courbes en pleine voie est généralement au-dessus de 500 mètres, et ne s'abaisse à 560 mètres que sur deux points, l'un vers le Hauenstein, l'autre à Rothenburg, entre Sursée et Lucerne.

Le tracé du chemin Central suisse se trouve dans des conditions favorables, en ce sens que, le mouvement ayant lieu surtout de la France vers la Suisse, les trains chargés n'auront à gravir que des rampes qui ne dépassent pas $20^{\text{mm}},8$, celles de 25 et 26 millièmes n'étant remontées que par des wagons vides ou faiblement chargés.

Les principaux ouvrages d'art du chemin Central suisse sont au nombre de vingt-trois, comprenant :

1° Deux ponts ou viaducs en pierre ;

2° Quatorze ponts ou viaducs en fer ;

3° Sept tunnels d'une longueur totale de 4,100 mètres.

Les ouvrages d'art en pierre sont très-élégants et construits avec beaucoup de soin. Nous citerons entre autres les viaducs de Bâle et de Rumlingen : le premier, composé de sept arches en arc de cercle; le second, composé de huit arches en plein cintre dont les voûtes ont $0^{\text{m}},90$ d'épaisseur à la clef et $13^{\text{m}},50$ de diamètre. Les piles ont 13 mètres de hauteur et 3 mètres d'épaisseur.

Les ponts en fer de toute grandeur sont fort nombreux; ils ont été presque tous exécutés en régie dans les ateliers de la Compagnie.

Nous décrirons leurs différents modes de construction plus loin en traitant des travaux d'art. Nous nous bornerons à faire mention ici des ponts qui sont au delà de 10 mètres de portée entre les culées. Ceux-là ont tous été exécutés avec du fer à treillis, suivant le système de Howe.

Le plus remarquable est celui de l'Aare, près de Berne : établi pour livrer passage au chemin de fer et à une route, il est composé de deux grandes poutres en treillis, renfermant, dans l'espace réservé entre elles, un chemin de voiture au-dessus duquel sont établies les deux voies du chemin de fer. Le platelage de la voie charretière et celui des rails sont supportés, le premier par la partie inférieure, le second par la partie supérieure des cadres en tôle, formant entre-toises et armatures, des grandes poutres en treillis.

Les dimensions principales de ce pont double sont les suivantes :

Hauteur des poutres.	$5^{\text{m}},899$
Longueur du pont entre les culées.	$164^{\text{m}},400$
Ouvertures des deux travées extrêmes.	$50^{\text{m}},000$

Ouverture de la travée du milieu.	57 ^m ,200
Longueur totale des poutres métalliques. . . .	168 ^m ,200
Hauteur des voies au-dessus de l'étiage de la rivière.	43 ^m ,500

Nous indiquerons aussi comme dignes d'attention les ponts de la Birss près de Bâle, de l'Aare, près de Soleure et Thoune, de l'Emme à Berthoud et près de Soleure, et celui près de Liestall.

Comme exception aux types précédemment décrits, nous citerons le pont sur l'Aare, près d'Olten.

Ce pont, dont le tablier fait partie d'un long plan incliné à 18 millimètres par mètre, est composé de trois travées de 31^m,50 d'ouverture chacune; chaque travée est formée d'arcs de cercle en tôle soutenant les poutres du tablier par l'intermédiaire de barres verticales reliées entre elles, dans leur milieu, par une suite d'entre-toises.

Les trois arches ont leurs naissances placées sur même plan horizontal; la différence de hauteur est rachetée par la différence existant entre les flèches, qui ont respectivement pour hauteur 5^m,40, 4^m,80 et 4^m,20.

On a enfin, au chemin Central suisse, employé, pour certains passages par-dessus, un système de poutres en bois armées de tirants en fer.

Parmi les souterrains, il faut citer celui de Hauenstein, percé dans la formation jurassique. Rencontrant une faille très-aquifère, il a présenté de grandes difficultés en exécution.

Nous devons enfin signaler la bonne disposition et la gracieuse architecture des bâtiments de stations du chemin de fer Central suisse, dont les plans ont été publiés dans le *Portefeuille de l'ingénieur*.

Des 252 kilomètres 118 sont construits avec travaux d'art et terrassements pour double voie. La deuxième voie est posée sur une longueur de 44 kilomètres, savoir : de Bâle à Aarbourg.

Une faute grave, à notre avis, qui a été commise dans l'exécution de ce chemin de fer, a été de n'acheter, sur une partie du parcours, les terrains, et de n'exécuter les travaux de terrassement et même les travaux d'art que pour une seule voie.

Chemin du Nord-Est. — Ce chemin se raccorde au chemin Central suisse à Wæschnan, près d'Aarau, passe à Baden, Zurich, d'où il rebrousse pour gagner Winterthur, puis Frauenfeld et Romanshorn, sur le lac de Constance.

A Tourzé se détache un embranchement qui se dirige sur Waldshut, à Winterthur part un second embranchement qui se rend sur Schaffouse. Par ces deux embranchements la ligne du Nord est réunie aux chemins badois. Enfin à Vallisellen et à Winterthur, le Nord-Est se soude au réseau de l'Union suisse.

Le Nord-Est met en communication, au moyen de ce réseau, qui comprend une étendue de 178 kilomètres, le Rhin, le lac de Constance, le canton d'Argovie et celui de Zurich avec les chemins de fer allemands, les chemins de fer français, le centre de la Suisse et l'Italie.

Ce réseau se compose de la fusion des lignes de Zurich-Baden, Zurich-Bodensée et du chemin à la chute du Rhin. Les travaux de la première ligne ont été commencés en 1844, sous la direction de M. l'inspecteur général Négrelli, et terminés en 1847; ce n'est qu'en 1853 qu'on a procédé à l'exécution de la section de Oerlikon à Romanshorn, achevée en 1855; les sections de Oerlikon-Zurich et Baden-Brugg n'ont été terminées qu'en 1855 et 1856; Winterthur-Schaffouse en 1857, Brugg-Aarau en 1858 et Tourzé-Waldshut en 1859. Les travaux de ces dernières sections ont été dirigés par M. Beck, ingénieur en chef.

Le tracé adopté pour l'exécution de ce chemin présente des différences très-marquées quant aux conditions de pentes et de courbes qui ont été appliquées. Ainsi la section de Wæschnan à Baden, et, plus encore, celle de Zurich à Frauenfeld, offrent des alternatives de pentes et de rampes dont l'inclinaison atteint jusqu'à 8 et 12 millièmes.

La section de Frauenfeld à Romanshorn, au contraire, est tracée avec des pentes généralement très-douces, n'atteignant 8,7 millièmes qu'en quelques points et sur de très-faibles longueurs.

Les rayons des courbes se tiennent en grande partie entre 600 et 800 mètres; cependant ils descendent à 500 mètres et même à 300 et 240 mètres aux passages des faites et des vallées profondes.

En plan le Nord-Est présente 71 pour 100 de sa longueur en alignement droit, et 29 pour 100 en courbes. 27 pour 100 de la longueur se trouve à niveau. Le reste de 75 pour 100 en pentes ou rampes; la pente moyenne est de 5^{mm},10. Le point culminant du Nord-Est se trouve à 512^m.40 au-dessus de la mer; le point le plus bas à 519^m,20.

Il résulte de ce tracé que, pour passer des sections de Wäeschnau à Baden et de Zurich à Winterthur sur celle de Frauenfeld à Romanshorn, ou *vice versa*, la composition et la vitesse des trains devront subir d'importantes modifications si l'on veut tirer le meilleur parti possible de la force motrice. C'est une condition défavorable.

On trouve sur le chemin Nord-Est, comme sur le chemin Central, un grand nombre de ponts en fer; mais il n'en est aucun qui soit digne d'une étude particulière, si ce n'est peut-être le pont de la Limmat et le viaduc qui l'accompagne, et les ponts sur le Rhin à Coblenz et à Schaffhouse. La longueur du soutènement est en tout de 1,295 mètres.

De 178 kilomètres, 91 sont construits avec travaux d'art et terrassements pour deux voies. La deuxième voie n'est encore posée nulle part, mais elle le sera prochainement entre Thuringe et Winterthur.

Chemin de l'Union suisse. — Ce chemin part de Winterthur et passe à Saint-Gall et à Rorschach, remonte de la vallée du Rhin jusqu'à Coire et revient par la ligne de Sargans, et par le Wallenstadt, sur Rapperschwyl et Wallisellen.

Ce chemin présente donc une deuxième communication de Zurich au lac de Constance par Saint-Gall et Rorschach, et se trouvera sans doute relié un jour aux chemins allemands à Lindau et Frederickshafen. Par la ligne de Rorschach et Coire il dessert principalement le trafic allemand-italien, qu'on veut faciliter par un chemin de fer qui passera les Alpes. Enfin la ligne de Zurich à Coire a pour but de relier les cantons des Grisons et de Glaris avec la Suisse centrale.

La construction de ce réseau, qui se compose de trois lignes fusionnées, le Winterthur-Rorschach, le Sud-Est et le Glattthal-

bahn, a commencé en 1855, sous les ordres de M. Etzel, comme directeur général des travaux, et de M. Hartman, comme ingénieur en chef. Elle a été continuée sous les ordres de MM. Pestalozzi et Wittli, et terminée en 1859.

La longueur totale du réseau en exploitation est de 269 kilomètres.

Entre Winterthur et Saint-Gall, sauf le passage de petites vallées secondaires qui donnent lieu à des contre-pentes, la ligne est toujours en rampe, et l'inclinaison varie entre 0 et 10 pour 100. Ces deux points, éloignés de 58 kilomètres, présentent une différence de niveau de 251 mètres. La pente moyenne est de $6^{\text{mm}},5$.

De Saint-Gall, comme point culminant, la ligne descend constamment jusqu'à Rorschach. La différence de niveau étant 277 mètres et la distance $15^{\text{k}},5$, on a dû employer sur son parcours de 12 kilomètres une pente de 20^{mm} . — La pente moyenne de cette section est de $17^{\text{mm}},5$. De Rorschach à Coire et sur le reste du réseau, les pentes sont plus favorables et ne dépassent pas 10^{mm} , excepté dans le trajet de Uster jusqu'à Rossensage, où le maximum atteint 12 millimètres.

On rencontre, sur le chemin de l'Union, plusieurs traversées de vallées très-remarquables par la hardiesse de leur conception. Nous citerons entre autres les ponts de la Goldach, de la Sitter, de la Glatt et de la Thur.

Le pont-viaduc de la Goldach est établi sur une pente de 20 millimètres et une courbe de 560 mètres de rayon. Il se compose de cinq arches en maçonnerie en plein cintre ayant chacune $15^{\text{m}},50$ d'ouverture. La distance entre les culées est de 78 mètres. La hauteur du rail au-dessus de la vallée est de 26 mètres.

Les trois ponts de la Sitter, de la Glatt et de la Thur sont formés de poutres en treillis, supportées par des piliers en fonte reposant sur des socles en maçonnerie. Le plus remarquable de ces ouvrages est celui de la Sitter, qui permet au chemin de fer de traverser la vallée à *soixante-cinq mètres* au-dessus des eaux de la rivière. Il se compose de quatre travées en fer ayant ensemble 160 mètres d'ouverture; les piles qui le supportent sont composées de cadres en fonte présentant une hauteur totale de 57 mètres,

établis sur un socle en maçonnerie de 13^m,50 de hauteur. Le tablier est supporté par deux poutres de 165^m,80 de longueur et 5^m,60 de hauteur, laissant entre elles un espace libre de 4^m,20 pour le passage de la voie.

La section le long du lac de Vallenstadt a présenté beaucoup de difficultés de construction, le chemin se trouvant au pied de hautes montagnes qui descendent quelquefois verticalement dans le lac. Il a fallu percer dix souterrains d'une longueur totale 1.640 mètres; et protéger souvent le chemin contre les chutes de rochers. Ce trajet, comme celui de Rorschach à Coire et de Veaux à Glaris, est très-pittoresque.

Chemin du Jura Industriel. — Ce chemin est destiné à relier Neuchâtel à la France par Morteau et Besançon, en passant par les villes de la Chaux-de-Fonds et du Locle, centres des fabriques d'horlogerie dans le canton de Neuchâtel. Il se trouve dans les conditions d'exploitation les plus difficiles.

Sa longueur totale de Neuchâtel à la frontière française est de 55 kilomètres; il présente, sur près de 28 kilomètres, des pentes de 25 à 27 millimètres, et encore, pour ne pas dépasser cette pente, le chemin est-il forcé de se déployer sur un coteau escarpé qu'il ne peut quitter pour descendre à Neuchâtel qu'au moyen d'un rebroussement placé dans la petite gare de Chambrelieu.

Le rayon minimum des courbes est de 500 mètres. On rencontre sur ce chemin deux grands tunnels : l'un de 5,120 mètres en pente de 25 millimètres sur les deux tiers de sa longueur; l'autre, de 1,320 mètres, à peu près horizontal.

Il n'y a sur cette ligne aucun autre ouvrage d'art considérable et aucun terrassement important.

Cette ligne se joint à la gare de Neuchâtel à celle du Franco-Suisse.

Chemin de Turin à Gènes ¹. — Le chemin de fer de Gènes à Turin, livré à la circulation au commencement de l'année 1854, a été commencé en 1846 par le gouvernement sarde, qui a également

¹ Extrait du *Journal des chemins de fer*.

construit le chemin d'Alexandrie à Novare, première section du chemin de fer d'Alexandrie au lac Majeur.

Le chemin de fer de Gênes à Turin, le premier qui traverse les Apennins, remplace la route royale, construite depuis trente ans seulement. Les échos de ces montagnes, que les sons cadencés des clochettes des convois de mulets faisaient résonner, retentissent aujourd'hui du sifflet de la locomotive, et annoncent une nouvelle victoire de l'industrie humaine sur les obstacles de la nature.

Ce chemin de fer a une très-grande importance, non-seulement parce qu'il joint deux villes capitales d'anciens États italiens aujourd'hui réunis, mais encore parce que, en réduisant de moitié les dépenses de transport des marchandises, il abaisse les prix d'importation, favorise l'exportation des riches produits de l'agriculture du Piémont, et développe les entreprises industrielles, en faisant arriver jusqu'au pied des montagnes, riches en cours d'eau, les matières premières, qui s'exporteront transformées en produits manufacturés.

Il exercera ainsi la plus heureuse influence sur la prospérité du Piémont et l'activité du port de Gênes, dont les intérêts sont solidaires depuis que le chemin de fer, obtenant, par ses bas prix, la préférence sur toutes les communications entre la mer et le Piémont, fait de Gênes le principal port du royaume de Sardaigne.

Ces avantages, appréciés depuis longtemps, auraient fait entreprendre ce chemin de fer plus tôt, si la nature n'avait présenté à son exécution de nombreux et sérieux obstacles.

Il fallait, en effet, traverser la chaîne des Apennins, dont le faite, élevé d'environ 500 mètres au-dessus du niveau de la mer, n'en est éloigné que de 20 kilomètres; des rampes rapides et un long tunnel dans une roche sans consistance étaient inévitables; les seules vallées praticables sur les deux versants sont tortueuses, bordées de roches schisteuses en décomposition, et occupées par des torrents, dont le lit présente des escarpements qui atteignent souvent 50 mètres de hauteur verticale.

Arrivé dans la plaine, le chemin traverse les torrents de la Bormida, du Tanaro et du Pô, qui, à l'époque de la fonte des neiges tombées sur les montagnes voisines, deviennent, par le volume de

leurs eaux, comparables aux fleuves les plus grands et les plus dangereux.

On conçoit que l'on ait tardé à entreprendre une communication présentant de si nombreuses difficultés. Mais, lorsque les chemins de fer, en se propageant en France et en Italie, eurent démontré les avantages de ce nouveau mode de communication et menacé, en favorisant des points rivaux, de faire perdre à Gènes une partie des avantages de sa position, il n'était plus possible d'hésiter.

Après avoir accordé, pour la construction de ce chemin de fer, une concession demeurée sans résultat sérieux, le gouvernement sarde se décida à faire exécuter lui-même les travaux, qu'il poursuivit, malgré les agitations politiques et les embarras financiers, avec une courageuse persévérance, aussi honorable pour lui que pour la nation, qui, maintenant, recueille le fruit des sacrifices qu'elle s'est imposés.

La gare des voyageurs, point de départ à Gènes, est établie près du palais Doria. Après avoir longé le pied de la montagne qui entoure le port, le chemin de fer traverse un tunnel qui débouche à Saint-Pierre d'Arena, faubourg de Gènes; il remonte la vallée de Polcevera jusqu'à Pontedecimo, puis s'engage dans la vallée du Ricco, qui le fait arriver au pied de la chaîne des Apennins, qu'il traverse au moyen d'un tunnel, et aboutit sur le versant nord, à Busala, dans la vallée de la Scrivia, qu'il suit jusqu'à Serravalle; de là il se dirige sur Novi et Alexandrie, en touchant à Frugarola et traversant le torrent Bormida, ainsi que le champ de bataille de Marengo.

D'Alexandrie, le chemin de fer remonte la vallée du Tanaro jusqu'à Asti, puis les vallées du Bobore, de la Triversa, jusqu'à Villafraanca; il s'élève, en passant près de Saint-Paul, au niveau de Villanova, qui appartient au bassin hydrographique du Pô; il passe un peu au nord de Villanova, se dirige sur Cambiana, touche à Truffarello, à Montcalier, et aboutit à Turin, à la porte Neuve, en face le palais du roi.

La distance de Gènes à Turin est de 165 kilomètres.

Dans la vallée des Apennins, le rayon des plus petites courbes n'est pas inférieur à 400 mètres, sauf une seule exception, où il est

de 500 mètres ; les rayons dans la plaine sont généralement supérieurs à 1,000 mètres.

Le tableau suivant donne les hauteurs au-dessus de la mer, des principales inflexions du profil, ainsi que le maximum d'inclinaison adopté :

STATIONS.	HAUTEUR AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.	DIFFÉRENCES DE NIVEAU.	DISTANCES HORIZONTALES EN KILOMÈTRES.	INCLINAISONS EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES	
				Moyenne.	Maxima adoptée.
	m	m	k	m	m
Gènes	16 ,00				
Saint-Pierre d'Arena.	8 ,66	7 ,34	3 ,00	2 ,3	3 ,4
Pontedecimo	90 ,00	81 ,34	9 ,85	8 ,5	11 ,0
Busalla	361 ,25	271 ,25	9 ,60	28 ,2	35 ,0
Alexandrie	95 ,05	266 ,48	52 ,55	5 ,4	8 ,0
Villafranca	157 ,12	62 ,12	49 ,30	1 ,3	5 ,0
Villanova	257 ,66	100 ,54	10 ,20	9 ,8	10 ,0
Montcalier	225 ,76	31 ,96	22 ,50	1 ,4	4 ,0
Turin	256 ,56	11 ,80	8 ,00	1 ,5	4 ,0

Il résulte de ces indications que le chemin de fer, pour traverser les Apennins, s'élève de 545^m,25 au-dessus de la station de Gènes, puis descend de 266^m,48 pour atteindre la station d'Alexandrie, et remonte de nouveau de 162^m,61 pour traverser le second seuil de partage entre les bassins hydrographiques du Tanaro et du Pô, puis descend de nouveau de 20^m,40 pour arriver au niveau de la station et de la ville de Turin.

Le tunnel des Apennins a 5,100 mètres de longueur. La pente du chemin dans ce tunnel est de 28,7 millimètres et aux abords de 55 millièmes. Son extrémité septentrionale se trouve à la station même de Busalla.

Entre Gènes et le tunnel des Apennins, le chemin de fer est à peu près constamment soutenu par des murs ou porté par des arcades, soit pour réduire l'occupation de terrains précieux, soit parce qu'il fallait défendre le chemin contre l'action des torrents, dont il occupe en partie le lit. Dans la vallée plus large de la Polvereira les murs de soutènement ont été remplacés par des murs

d'endiguement destinés à contenir et redresser le cours du torrent.

Sur le versant méridional des Apennins, on a ouvert deux tunnels ayant des longueurs de 686 et 197 mètres, et couvert la voie en quatre endroits différents sur les longueurs de 66, 106, 56 et 100 mètres. Le chemin de fer traverse le torrent Zecca sur un pont de 60 mètres d'ouverture en cinq arches, et le Ricco sur quatre ponts de 16 à 22 mètres d'ouverture. Les intersections de la route royale et de petits cours d'eau ont nécessité la construction d'un grand nombre de viaducs et aqueducs.

Le tunnel de Giovi, percé dans le massif des Apennins, traverse sur presque tout son parcours une roche décomposée qui exerce une grande pression, et a exigé, sur toute sa longueur de 5,255 mètres, un solide revêtement en maçonnerie qui a absorbé au delà de trente millions de briques.

Sur le versant septentrional et à 5 kilomètres au delà du tunnel de Giovi, commence, dans la vallée de la Scrivia, une série de tunnels, de ponts, viaducs et murs de soutènement, qui transforment la construction du chemin de fer en un ouvrage d'art continu d'une étendue d'environ 12 kilomètres.

Les tunnels, au nombre de quatre, ont les longueurs de 860, 470 et 695 mètres. Des huit ponts jetés sur la Scrivia, quatre sont composés d'une arche de 40 mètres d'ouverture avec 10 de flèche et 25 mètres de hauteur; deux ont 60 mètres d'ouverture en trois arches de 14 à 25 mètres de hauteur; deux ont 60 mètres en cinq arches de 12 mètres d'ouverture et de 9 à 15 mètres de hauteur. On rencontre un viaduc de 520 mètres de longueur et d'une élévation de 27 à 50 mètres.

Sorti des gorges de la vallée, le chemin de fer franchit, sur des remblais élevés de 24 et 20 mètres, un affluent et une partie du lit de la Scrivia; puis il traverse le village de Serravalle au milieu d'une large rue obtenue en démolissant un grand nombre de maisons, dont le prix d'acquisition était cependant inférieur à la dépense d'un mur de soutènement, qui, fondé dans le lit du torrent, aurait atteint une hauteur considérable. Au delà de Serravalle, le chemin de fer est établi sur une chaussée élevée, à laquelle succède une longue tranchée, passe près de Novi, où il atteint la plaine, tra-

verse la Bormida sur un pont de neuf arches, long de 155 mètres, et touche Alexandrie, où il traverse le Tanaro sur un pont de quinze arches, long de 150 mètres.

Dans la vallée du Tanaro, que le chemin de fer remonte, le torrent décrit une série de sinuosités qui donne à son cours l'aspect d'un immense serpent dont les replis atteignent en deux endroits, à Felizzano et à Annone, le pied des collines qui dominent la vallée, et, barrant le passage au chemin de fer, obligeaient ou à construire quatre ponts, ou à ouvrir deux nouveaux lits sur les longueurs de 750 et 850 mètres; l'on s'est arrêté à ce dernier parti, plus économique, malgré une dépense considérable en terrassements et ouvrages de défense contre les érosions.

Après avoir quitté la vallée du Tanaro, le chemin de fer remonte des vallées secondaires, creusées dans un terrain composé à peu près exclusivement d'argile de la variété désignée sous le nom vulgaire de glaise, qui formait presque les seuls déblais que l'on extrayait des tranchées, et dont on pouvait disposer pour exécuter des remblais considérables, que l'on n'a réussi à faire tenir qu'en élargissant considérablement leur base, qui va jusqu'à quatre ou cinq fois la hauteur des remblais.

Outre les viaducs pour conserver les communications et les aqueducs, les ouvrages d'art que le chemin de fer a exigés entre ce point de partage et Turin comprennent le pont sur le Pò, à Montcalier, d'une longueur de 112 mètres en sept arches, et un pont de 50 mètres en trois arches sur le torrent Saagone.

Le chemin de fer de Gênes à Turin peut être comparé aux chemins de Manchester à Leeds et de Liège à Aix-la-Chapelle, pour le nombre, mais non pour l'importance des difficultés rencontrées, qui sont beaucoup plus grandes sur la ligne de Gênes à Turin.

Le prix par kilomètre est d'environ 650,000 francs.

Pour s'élever du niveau de la mer au sommet des Apennins sur la courte distance de 20 kilomètres, le profil du chemin de fer a dû admettre la plus forte inclinaison, 55 millimètres, que l'on ait encore adoptée sur les lignes de grande communication, et qui dépasse notablement la rampe de 25 millimètres du passage du Sømmering.

Jusqu'à présent les convois ont été remorqués sur les rampes de 55 millimètres par des locomotives à quatre roues du poids d'environ 22 tonnes et disposées pour être réunies par la plate-forme du mécanicien, qui peut ainsi manœuvrer les deux locomotives nécessaires pour remorquer un convoi ordinaire.

Le mouvement à la remonte étant considérable, les frais de traction sont très-élevés¹.

Nous ne devons pas terminer cet article sur le chemin de Turin à Gènes sans faire mention de l'habile ingénieur qui l'a construit, M. Mauss, inspecteur des ponts et chaussées en Belgique, son pays, et auteur des plans inclinés de Liège.

¹ Voir, pages 136 et suivantes, les renseignements donnés sur les frais de traction.

CHAPITRE V

FRAIS DE CONSTRUCTION DES CHEMINS ÉTABLIS ET RÉDACTION DES DEVIS POUR LES CHEMINS A CONSTRUIRE

La rédaction des devis est une des opérations les plus importantes et les plus difficiles dont l'ingénieur chargé de la construction d'un chemin de fer ait à se préoccuper: Le succès d'une entreprise dépend essentiellement de l'exactitude des estimations faites de la dépense. Nous verrons plus loin que, pour un grand nombre de lignes établies, les erreurs de devis ont été considérables. L'appréciation des produits avait été fort heureusement autant au-dessous de la vérité que celle des dépenses, de manière qu'il s'est établi une sorte de compensation, et qu'en définitive les revenus ont dépassé les espérances des fondateurs. Il n'en faut pas moins s'attacher à calculer aussi exactement que possible le capital à émettre, surtout pour les lignes qui restent à construire et sur lesquelles la circulation ne sera pas aussi active que sur celles déjà existantes.

Il est bien rare que l'on dresse des devis *réguliers* et *complets* d'un chemin de fer avant d'en entreprendre l'exécution. Pour dresser des devis réguliers, il faut connaître parfaitement le tracé, la nature des terrains traversés, la nature des matériaux voisins de la ligne, etc., etc., et avoir rédigé tout le projet. Or l'administration, en France, n'approuve jamais le tracé d'une grande ligne dans son ensemble; elle ne l'approuve que par portions successives. L'étude des terrains est longue et difficile; il en est de même de celle des matériaux. La rédaction des projets exige aussi beaucoup

de temps et ne peut avoir lieu qu'après l'approbation du tracé. Si les Compagnies attendaient, pour commencer leurs travaux, l'approbation complète du tracé et l'accomplissement de toutes les études qui font suite à cette approbation, elles s'exposeraient à des pertes de temps, et, par suite, à des pertes d'argent considérables. Les travaux commencent donc généralement le plus souvent sur une grande échelle avant que les devis réguliers et complets aient été dressés; mais, à défaut de ces devis, on en dresse d'approximatifs qui doivent se rapprocher le plus possible de la vérité. Les devis réguliers et complets viennent ensuite, quand les travaux sont déjà parvenus à un certain degré d'avancement. Quant au prix de revient, on ne peut l'établir avec une entière exactitude que lorsque les décomptes ont été acceptés par les entrepreneurs, car presque toujours ceux-ci élèvent au dernier moment des réclamations tout à fait imprévues.

Pour dresser le devis d'un chemin à construire, il faut connaître le prix de revient des chemins livrés à l'exploitation et le décomposer dans ses éléments.

Prix de construction des chemins établis. — Ce prix de revient varie dans des limites fort étendues : c'est ce que prouvent les tableaux suivants, qui ont été dressés d'après les documents officiels publiés par les gouvernements d'Angleterre, de France, de Belgique, d'Allemagne et des États-Unis, ou d'après les comptes rendus des Compagnies.

Ces tableaux fournissent des renseignements sur le prix de revient des chemins de fer, tel qu'il était il y a déjà quelques années; il ne nous a pas été possible de nous procurer, pour la plupart des chemins étrangers, des données plus récentes; mais, *eu égard au but que nous nous proposons*, il ne serait pas d'un grand intérêt de savoir que l'accroissement du trafic a eu pour conséquence l'augmentation du capital d'établissement d'une ligne dans des proportions plus ou moins importantes. L'indication du prix de revient au moment où le chemin a été terminé ou peu de temps après son achèvement suffit pour démontrer les variations que ce prix a subies dans les différents pays sur les principales lignes.

Il est important, en procédant par analogie pour l'établissement du prix des chemins à construire, de tenir compte de l'augmentation qu'ont subie généralement les prix de main-d'œuvre, ceux des matériaux, etc. Ainsi le mètre cube de terrassement et de maçonnerie, qui a coûté il y a quelques années un certain prix, se paye aujourd'hui un quart, ou même moitié en sus.

CHEMINS ANGLAIS¹

NOMEROS D'ORDRE	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies ² .			LONGUEUR totale concedée.	PRIX TOTAL de premier establis- sement par kilomètre ³ , matériel compris.
		à une voie.	à deux voies.	en tota- lité.		
1.	Aberdare (ligne affermée à la C ^e du chemin de fer de Taff Vale)	13	"	13	13	128 076
2.	Aberdeen	11	32	93	94	473 315
3.	Ambergate, Nottingham et Boston, et Eastern junction	"	32	32	144	447 164
4.	Arbroath et Forfar (ligne affermée à perpetuité à la C ^e du chemin de fer d'Aberdeen)	"	25	25	25	266 666
5.	Ardrossan	13	10	23	23	115 942
6.	Bangor et Caernarvon	11	"	11	11	318 182
7.	Bedford (ligne affermée à la C ^e du chemin de fer de London et North Western)	"	27	27	27	"
8.	Belfast et Ballymena	61	"	61	105	179 841
9.	Belfast et County Down	27	"	27	73	228 310
10.	Birkenhead, Lancashire et Cheshire junction	1	52	53	55	"
11.	Birmingham, Wolverhampton et Stour Valley (ligne affermée à la C ^e du chemin de fer de London et de North Western	"	23	23	28	"
12.	Blackburn	20	22	42	73	473 630
13.	Blyth et Tyne	17	"	17	33	193 181
14.	Bodmin et Wadebridge	24	"	24	24	"
15.	Bristol et Exeter	49	122	171	255	421 333
16.	Buckinghamshire (ligne affermée à la C ^e du chemin de fer de London et North Western	51	34	85	104	398 798
17.	Caledonian	6	298	304	475	510 498
18.	Caledonian et Dumbartonshire junction	"	13	13	55	393 909
19.	Chester et Holyhead (comprenant le chemin de fer de Mold)	11	147	158	161	673 809
20.	Cockemouthe et Workington	14	"	14	15	238 886
21.	Colchester, Stour Valley, Sudburg et Halstead	21	"	21	71	316 549
22.	Cork et Bandon	32	"	32	97	172 164
23.	Cork, Blackrock et Passage	10	"	10	12	472 214
24.	Deeside	26	"	26	26	136 202
25.	Dowlais	1	2	3	"	"

1. Au 31 décembre 1853, d'après les documents officiels.

2. Le Gouvernement ne possède et n'exploite aucun chemin de fer.

3. Calculée d'après le capital d'actions et n'emprunts autorisé par le Parlement et la longueur totale concédée, au 31 décembre 1853. Ce capital sera probablement trop faible pour quelques chemins non encore terminés.

(SUITE.)

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies			LONGUEUR totale conçue.	PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre, matériel compris.
		à une voie.	à deux voies.	en tout- à-lait.		
26.	Dublin et Belfast junction.	89	»	89	89	355 803
27.	Dublin et Drogheda.	43	57	100	100	317 666
28.	Dublin et Kingstown.	3	10	13	13	1 288 461
29.	Dublin et Wicklow.	»	15	15	55	303 030
30.	Dundalk et Enniskillen.	32	»	32	101	134 257
31.	Dundee et Arbroath (ligne affermée à la C ^e du chemin de fer de Dun- dee, Perth et Aberdeen).	»	28	28	28	317 500
32.	Dundee et Newtyle (ligne affermée à la C ^e du chemin de fer de Dun- dee, Perth et Aberdeen).	»	16	16	16	218 750
33.	Dundee et Perth, et Aberdeen junc- tion.	»	33	35	36	601 804
34.	East Anglian.	78	29	107	133	300 737
35.	East Lancashire.	12	116	128	145	684 798
36.	East Lincolnshire (ligne affermée à la C ^e du chemin de fer le Great Northern.	»	76	76	76	263 157
37.	Eastern Counties.	14	295	309	425	789 192
38.	Eastern Union.	17	116	133	167	448 602
39.	Edinburgh et Bathgate.	2	17	19	38	219 078
40.	Edinburgh et Glasgow.	36	94	130	138	638 600
41.	Edinburgh, Perth et Dundee. . . .	4	112	116	137	788 301
42.	Exeter et Crediton (ligne affermée à la C ^e du chemin de fer de Bris- tol à Exeter).	9	»	9	9	333 330
43.	Forth et Clyde (Navigation de). — Compagnie propriétaire du che- min de fer de Drumpeller.	1	»	1	3	288 889
44.	Furness.	23	9	32	37	258 063
45.	Glasgow, Terminus général et Port.	»	4	4	7	1 190 471
46.	Glasgow et South Western.	37	245	282	534	347 167
47.	Gloucester et Dean Forest (ligne affermée à perpétuité à la C ^e du Great Western).	»	13	13	17	496 372
48.	Great Northern.	»	381	381	561	477 917
49.	Great North d'Angleterre, Claren- ce et Hartlepool junction (ligne affermée à la C ^e du chemin de fer de York, Newcastle et Berwick). . .	4	10	14	14	177 500
50.	Great Southern et Western.	»	303	303	418	244 415

(SUITE.)

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies.			LONGUEUR totale concedée.	PRIX TOTAL de premier établisse- ment par kilomètre, matériel compris.
		à une voie.	à deux voies.	en tota- lité.		
51.	Great Western.	6	485	491	923	571 487
52.	Hartlepool (dock et chemin de fer).	3	23	26	26	415 384
53.	Hereford, Ross et Gloucester.	8	»	8	36	254 166
54.	South Eastern d'Irlande.	36	»	36	36	244 444
55.	Kendal et Windermere.	»	17	17	17	339 705
56.	Killarney junction.	55	»	65	65	134 615
57.	Lancashire et Yorkshire.	19	294	313	337	975 448
58.	(Preston et Wyre).	14	33	47	47	376 595
59.	Lancaster et Carlisle.	»	113	113	113	384 734
60.	Lancaster et Preston junction.	»	33	33	33	434 090
61.	Leeds Northern.	33	79	112	145	513 436
62.	Liskeard et Caradon.	14	»	14	14	53 576
63.	Liverpool, Crosby et Southport.	»	27	27	27	277 777
64.	Llanelly (dock et chemin de fer).	45	»	45	58	142 241
65.	Lllynoy Valley.	28	»	28	52	71 875
66.	London et Blackwall.	»	8	8	69	5 474 000
	»	»	»	61		778 623
67.	London et Greenwich (ligne affer- mée à la C ^e du chemin de London et South Eastern).	»	6	6	6	4 138 750
68.	London et North Western.	94	757	851	1173	825 552
69.	London et South Western.	110	290	400	610	414 101
70.	London, Brighton et South Coast.	27	235	262	294	632 732
71.	Londonderry et Coleraine.	58	»	58	103	181 229
72.	Londonderry et Enniskillen.	52	15	67	97	130 154
73.	Malton et Driffield junction.	31	»	31	39	205 128
74.	Manchester et Southport.	»	5	5	73	353 869
75.	Manchester, Buxton, Matlock et Midland junction.	»	18	18	82	184 451
76.	Manchester, Sheffield et Lincoln- shire.	9	257	266	375	664 913
77.	Manchester South junction et Al- trincham (compris dans la C ^e Lon- don et North Western et dans la Compagnie précédente.	»	15	15	15	»
78.	Maryport et Carlisle.	32	13	45	45	255 525
79.	Middlesbro et Redenr (ligne affer- mée à la C ^e du chemin de fer de Stockton et Darlington.	13	»	13	13	169 230
80.	Midland.	42	742	784	1026	505 900
81.	Midland Great Western d'Irlande.	47	157	204	292	222 317
82.	Monkland.	40	17	57	89	239 737

(SUITE.)

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies.			LONGUEUR totale conçue.	PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre mètres compris
		à une voie	à deux voies.	en totalité.		
83.	Monmouthshire chemin de fer et canal..	56	7	63	86	241 27
84.	Morayshire..	10	"	10	10	99 00
85.	Newcastle sur Tyne et Carlisle..	19	107	126	126	351 10
86.	Newmarket..	10	27	37	105	164 00
87.	Newport, Abergavenny et Hereford.	"	54	54	104	363 00
88.	Newry, Warrenpoint et Rostrevor.	9	"	9	13	256 40
89.	Norfolk (ligne affermée à la C ^{ie} du chemin de fer de Eastern Counties.	54	79	133	178	331 30
90.	Lowestoft..	18	"	18	18	444 40
91.	Northern et Eastern..	"	71	71	71	433 50
92.	North et South Western junction..	"	6	6	8	267 70
93.	North British..	7	231	238	262	426 00
94.	North Devon..	4	"	4	78	265 50
95.	North London autrefois East and West India Docks et Birmingham junction..	"	13	13	15	1999 40
96.	North Staffordshire..	17	182	199	221	658 30
97.	North Union (ligne affermée aux C ^{ies} du chemin de fer de London et North Western et Lancashire and Yorkshire..	"	61	64	64	482 00
98.	North Western..	13	61	74	106	414 00
99.	Oxford, Worcester et Wolverhampton..	26	116	142	186	550 10
100.	Preston et Longridge (ligne affermée à la C ^{ie} du chemin de fer de Fleetwood, Preston et West Riding junction..	10	"	10	10	145 00
101.	Royston et Hitchin. ligne affermée à la C ^{ie} du Great Northern..	"	29	29	29	398 00
102.	Saint Andrew's..	7	"	7	7	100 00
103.	Saint Helene (canal et chemin de fer..	7	32	39	54	428 00
104.	Saundersfoot..	11	"	11	11	94 00
105.	Central Ecosais..	7	73	80	107	404 00
106.	Midland junction Ecosais..	3	52	55	82	243 00
107.	Sheffield, Rotherham, Barnsley, Wakefield, Huddersfield et Goole.	17	"	17	17	685 00
108.	Shrewsbury et Birmingham..	"	47	47	57	786 40
109.	Shrewsbury et Chester..	25	65	90	94	443 60

(SUITE.)

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies.			LONGUEUR totale conçue.	PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre, matériel compris.
		à une voic.	à deux voies.	en tota- lité		
110.	Shrewsbury et Hereford.	75	6	81	81	185 185
111.	Shropshire Union (canal et chemin de fer.	»	29	29	228	482 456
112.	South Devon.	70	21	91	110	587 083
113.	South Eastern.	15	394	409	441	645 996
114.	South Staffordshire.	»	41	41	59	533 898
115.	South Wales.	57	143	200	359	308 054
116.	South Yorkshire (chemin de fer et rivière Dun).	4	27	31	79	434 691
117.	Stirling et Dumferline.	»	40	40	40	325 000
118.	Stockton et Darlington.	14	47	61	61	430 327
119.	Taff Vale.	27	29	56	77	346 753
120.	Ulster.	»	57	57	57	350 877
121.	Vale Neath.	16	25	41	59	336 158
122.	Warrington et Stockport.	16	»	16	31	322258
123.	Waterford et Kilkenny.	46	»	46	50	299 500
124.	Waterford et Limerick.	87	35	122	122	204 918
125.	Waterford et Tramore.	12	»	12	12	133 333
126.	Wear Valley (ligne affermée à la C ^e du chemin de Stockton et Dar- lington.	49	20	69	69	298 540
127.	West Cornwall.	56	2	58	71	234 154
128.	West Hartlepool (port et chemin de fer).	»	72	72	72	692 592
129.	West London (ligne affermée aux C ^{es} du chemin de London and North Western et du Great Wes- tern.	5	»	5	5	1 375 000
130.	Whitehaven et Furness junction.	56	»	56	59	199 124
131.	Whitehaven junction.	19	»	19	20	271 250
132.	York et North Midland.	64	389	453	546	356 303
133.	York, Newcastle et Berwick.	58	437	495	598	536 739
134 à 142.	Lignes diverses comprises dans les chemins qui précèdent.					
	<i>Totaux.</i>	2725	9637	12362	17051	450 709

On remarquera, en parcourant les tableaux précédents, que les lignes qui ont coûté un million ou au delà par kilomètre sont placées dans des conditions exceptionnelles. Tels sont, par exemple, les chemins de Londres à Blackwall, Londres à Greenwich, etc. Le prix de revient d'autres lignes établies depuis longtemps (Great Western, etc.) ne paraît pas aussi élevé qu'on l'aurait supposé. Cela tient à l'emploi qu'on a fait d'une partie du capital pour la construction d'embranchements beaucoup moins coûteux que la ligne principale. Enfin, si le coût de la plupart des lignes affermées est peu considérable, il faut l'attribuer sans doute à ce que les Compagnies fermières ont fourni partie ou totalité du matériel roulant.

Le tableau suivant est celui du prix de revient des grandes lignes anglaises en 1843, peu de temps après leur ouverture, avec l'indication du cube des terrassements sur une partie de ces lignes, et de leurs produits.

NUMÉROS D'ORDRE.	DESIGNATION DES LIGNES.	LONGUEURS.	TERRASSEMENTS. PAR KILOMÈTRE.	DEPENSES PAR KILOMÈTRE. Année 1843 ¹ .	RECETTES PAR KILOMÈTRE. Année 1842 ² .
		kil.	m ³ .	fr.	fr.
1	Birmingham à Gloucester. . .	88	36 000	417 614	27 000
2	Chester à Berkenead.	23	39 000	573 390	33 000
3	Eastern Counties.	82	»	834 695	15 000
4	Edimbourg à Glasgow.	74	»	530 405	31 500
5	Glasgow à Ayr.	83	»	310 313	17 000
6	Grand junction.	182	»	326 250	77 000
7	Great North of England. . . .	72	15 000	424 723	23 500
8	Lancaster à Preston.	33	47 000	370 820	16 000
9	Liverpool à Manchester. . . .	50	43 000	764 700	119 000
10	Londres à Southampton. . . .	150	»	431 803	53 000
11	Londres à Birmingham. . . .	181	67 000	822 895	112 000
12	Londres à Bristol.	190	»	875 000	88 500
13	Londres à Brighton.	74	74 000	889 875	40 000
14	Londres à Greenwich.	6	»	4 824 337	227 500
15	Londres à Blackwall.	6	»	5 378 133	199 500
16	Manchester à Leeds.	81	48 000	963 975	75 500
17	Newcastle à Carlisle.	93	»	270 663	20 000
18	North Midland.	117	62 000	714 673	46 500

1. D'après le cinquième rapport du comité des chemins de fer à la Chambre des communes.
2. Ces recettes sont données pour l'année 1842. Le montant de celles de l'année 1843 peut être évalué à 1/10 de plus.

La plupart des chemins anglais ayant changé de nom par suite de la fusion des Compagnies, nous avons cru utile de publier ce tableau indépendamment de celui qui précède et qui a été dressé sur des documents officiels.

Le tableau suivant est celui du prix de revient des chemins de fer français. Nous aurions pu, pour ces chemins, indiquer la situation actuelle du capital; mais il eût fallu, dans ce cas, faire imprimer de nouveau le tableau sans utilité réelle, comme nous l'avons expliqué à propos des chemins étrangers. Nous nous bornerons donc à mentionner les changements importants subis par quelques lignes.

Ainsi, sur le chemin de Paris à Saint-Germain, le système atmosphérique a été supprimé et remplacé par des locomotives. La seconde voie a été posée sur le chemin d'Épernay à Reims, dont les recettes avaient considérablement augmenté. Le chemin de Blesme à Gray a été terminé, et la seconde voie a été posée entre Chaumont et Langres, partie qui lui est commune avec le chemin de Mulhouse.

Les frais de construction de ce chemin se sont élevés à 420,000 francs par kilomètre. La seconde voie a été posée également sur toute la longueur du chemin de Montereau à Troyes, exception faite de la partie comprise entre Montereau et Flamboin, longue de 28 kilomètres.

Le chemin de Paris à Mulhouse, terminé à deux voies sur la plus grande partie de son parcours, a coûté 410,000 fr. environ le kilomètre, et le chemin du Midi à une voie 364,000 francs.

Après le tableau du prix de revient des chemins français, vient celui des chemins allemands, d'après Hauchecorne. Enfin au tableau des chemins allemands succèdent ceux des chemins belges et des chemins américains.

CHEMINS

NOMS DES COMPAGNIES.	PARCOURS DES CHEMINS.	LONGUEUR DES CHEMINS TERMINES.			
		une voie.	deux voies.	totale.	
		kil.	kil.	kil.	
Chemin de ceinture.	Autour de Paris.	»	17,00	17,00	
	Paris à la frontière par Lille et Valenciennes.	»	338,00	338,00	
Nord.	Lille à Dunkerque et Calais.	»	145,00	145,00	
	Amiens à Boulogne.	»	124,00	124,00	
	Creil à Saint-Quentin.	»	102,00	102,00	
	Paris au Pecq.	»	18,05	18,05	
Ouest-Nord-Ouest.	Le Vésinet à Saint-Germain (chemin atmosphérique).	2, 5	»	2,05	
	Asnières à Argenteuil.	4, 5	»	4,05	
	Paris à Auteuil.	»	8,01	8,01	
	Paris à Rouen.	»	140,00	140,00	
	Rouen au Havre.	»	92,00	92,00	
	Rouen à Dieppe.	»	50,00	50,00	
	Paris à Versailles (rive droite).	»	19,00	19,00	
	» (rive gauche)	»	17,00	17,00	
	Paris, Orléans et Corbeil.	»	133,00	133,00	
	Orléans.	Orléans à Bordeaux par Tours.	»	461,00	461,00
Est.	Tours à Nantes.	»	194,00	194,00	
	Centre, Clermont et Limoges.	»	320,00	320,00	
	Paris à Strasbourg.	»	502,00	502,00	
	Frouard à Metz et Forbach.	»	122,00	122,00	
	Metz à Thionville ¹	»	»	30,00	
	Épernay à Reims.	30,00	»	30,00	
	Strasbourg à Wissembourg ²	»	»	58,00	
	Strasbourg à Bâle.	»	141,00	141,00	
	Mulhouse à Thann.	20,00	»	20,00	
	Blesmes à Gray ³	17	»	17,00	
Midi.	Montereau à Troyes.	100,00	»	100,00	
	Bordeaux à La Teste.	52,00	»	52,00	
	Orsay.	Paris à Sceaux.	11,00	»	11,00
	Paris à Lyon.	Paris à Lyon.	»	508,00	508,00
Chemin de jonction du Rhône à la Loire (Grand-Central).	Lyon à Saint-Étienne.	»	57,00	57,00	
	Saint-Étienne à Andrieux.	18,00	»	18,00	
	Andrieux à Roanne.	68,00	»	68,00	
	Lyon à Avignon.	»	230,00	230,00	
	Avignon à Marseille.	»	122,00	122,00	
	Baucaire à Nîmes et Alais.	64,00	28,00	92,00	
Nîmes à Montpellier.	»	52,00	52,00		
Montpellier à Cette.	27,00	»	27,00		

1. Supposant la seconde voie posée. — 2. Supposant la seconde voie posée. — 3. Ligne inachevée aux redevances payées à la Compagnie de Saint-Germain. — 6. Cette Compagnie ne possédait pas de

FRANÇAIS

LONGUEUR DES VOIES ACCESSOIRES pour 100 kilomètres de chemin	DISTANCE MOYENNE entre LES STATIONS.	DÉPENSES MOYENNES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT PAR KILOMÈTRE.			RECETTE BRUTE DE L'EXPLOITATION. par kilomètre.	DATES			
		par l'État.	par la compagnie.	totale.		de l'exercice.	de l'ouverture de la ligne entière.		
		fr.	fr.	fr.		fr.			
..	1,31	»	»	11500,000 ⁴	39,400	1854	1853		
22,50	8,33	»	444,000	444,000	56,000	1854	1846		
		»	264,000	264,000			1848		
		»	300,000	300,000			1850		
		»	240,000	240,000			1837		
»	3,70	»	1,081,100	1,081,100	70,400	1854 ⁵	1847		
»	2,50	712,000	1,805,000	2,517,000			1851		
»	2,25	»	97,000	97,000	81,500	1854	1854		
»	1,35	»	432,000	432,000					
19,00	8,12	»	484,000	484,000			1854	1843	
»	7,66	»	634,000	634,000			54,000	1853	1847
»	10,00	»	281,800	281,800			16,855	1855 ⁵	1848
»	2,71	»	872,800	872,800			81,600	1851	1839
»	2,43	»	1,015,000	1,015,000			50,000	1852	1840
33,00	5,54	»	460,000	460,000			82,300	1853	1843
»	8,40	176,000	152,000	328,000			37,634	1854	1853
»	6,50	230,000	190,000	420,000					1851
»		190,000	123,000	313,000			1854		
21,40	8,23	211,000	216,000	427,000			1852		
15,30	7,62		278,000	278,000	43,300	1854	1852		
»	6,00		224,000	224,000			1854		
»	7,50	250,000	67,000	317,000			1854		
25,90		»	217,240	217,240	»	1854			
»	4,86	»	310,000	310,000	24,500	1854	1841		
»	5,25	»	147,500	143,500	14,000	1854	1839		
»	»	»	»	»	11,400	1854	1854		
»	7,70	»	221,100	221,100	14,700	1854	1848		
»	4,73	»	115,000	115,000	4,900	1853	1842		
»	3,25	»	520,000	520,000	30,100	1853	1846		
»	8,76	169,000	394,000	563,000	58,500	1854	1854		
»	4,07	»	454,800	454,800	93,200	1852	1832		
»	5,66	»	190,000	190,000	25,300	1852	1827		
»	7,55	»	198,000	198,000	16,000	1852	1833		
»	6,25	»	445,000	445,000	»	»	1855		
»	7,50	80,000	664,000	744,000	41,800	1853	1849		
»	5,41	»	210,800	210,800	23,800	1851	1840		
»	3,27	290,000	»	290,000	20,000	1852	1845		
»	6,75	»	183,300	183,300	18,000	1850	1839		

— 4 Non compris le matériel fourni par les Compagnies exploitantes. — 5. Le matériel correspondant matériel roulant.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS des ÉTATS ET DES CHEMINS.	PARCOURS.	LONGUEUR des chemins exploités	
			à une voie.	à deux voies
Prusse.				
1.	Aix-la-Chapelle-Dusseldorf.	par Gladbach.	47	
	Ruhrort-Crefeld-Gladbach.	Gladbach, Crefeld, Homburg, près Ruhrort.	42	
2.	Berg-Marche.	Elberfeld à Dortmund.	58	
3.	Berlin-Anhalt.	Berlin à Cothen, par Juterbohl. Et embranchement de Juterbohl à Riesa.	173	
4.	Berlin Hambourg.	par Wittenberge, Hagenow, Büchen.	146	154
	Et embranchement	de Büchen sur Lauenbourg.		
5.	Berlin-Potsdam-Magdebourg. . . . .	. . . . .	96	81
6.	Berlin-Stettin. . . . .	. . . . .	134	
7.	Stettin-Stargard. . . . .	. . . . .	34	
8.	Stargard-Posen.	par Kreuz.	170	
9.	Bonn-Cologne. . . . .	. . . . .	29	
10.	Breslau-Fribourg-Schweidnitz.	Breslau à Hermsdorf, par Fribourg.	66	
	Et embranchement	de Königszeit à Schweidnitz.		
11.	Cologne Minden.	par Dusseldorf, Oberhausen, Dortmund, Hamm, Löhne.	194	8
	Et embranchement	de Duisbourg et d'Oberhausen à Ruhrort.		
12.	Dusseldorf-Elberfeld.	par Vohwinkel.	26	
13.	Magdebourg-Cothen-Halle-Leip- zig. . . . .	. . . . .		11
14.	Magdebourg-Halberstadt.	par Oschersleben.	22	3
15.	Magdebourg-Wittenberge. . . . .	. . . . .	106	
16.	Münster Hamm. . . . .	. . . . .	35	
17.	Neiss-Brieg. . . . .	. . . . .	44	
18.	Basse Silésie et Marche.	Berlin à Breslau, par Francfort- sur-l'Oder, Hansdorf, Kohlfurt Et embranchement de Kohlfurt à Gorlitz.	388	
19.	Basse Silésie (embranchement de).	Hansdorf à Glogau.	70	
20.	Haute Silésie.	Breslau à Myslowitz, par Brieg et Kandrzin, près Kosel.	130	6

1. D'après le tableau de M. Hauchecorne, la statistique du Congrès des chemins de fer allemands.
2. Revenus extraordinaires non compris.

LLEMANDS

LONGUEUR des chemins exploités			LONGUEUR des voies accessoires pr 100 kilomètres de chemin.	DESCRIPTION SOMMAIRE.				PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre.	RECETTE brute de l'exploitation par kilomètre ² .
en kilomètres.	par les compagnies.	en totalité.		SOUTERRAINS — Nombre total.	VIADUCS. — Nombre total.	PONTS. — Nombre total.	STATIONS. — Distance moyenne.		
	kil.	kil.					kil.	fr.	fr.
87	»	47	»	»	»	1	5,0	189 928	8 466
12	»	42	»	»	»	»	»	»	»
»	»	58	»	1	2	174	4,5	397 698	19 396
»	231	231	»	»	»	»	11,0	121 528	16 987
»	296	296	»	»	18	332	12,3	204 453	19 914
»	147	147	10	»	»	79	13,5	282 660	24 220
»	134	134	13	»	»	13	19,1	119 590	25 530
»	34	34	16	1	»	»	8,5	182 160	7 775
»	171	170	»	»	3	162	15,5	110 429	»
»	29	29	14	»	1	4	5,8	149 781	15 405
»	66	66	»	»	»	»	6,6	118 926	12 240
»	278	278	»	»	1	845	8,9	272 018	30 752
»	2	26	»	»	1	20	3,7	345 349	33 996
»	118	118	»	»	»	»	9,0	199 734	41 707
»	58	58	»	»	»	78	7,3	154 938	26 809
»	106	106	»	»	»	26	10,6	199 965	9 032
»	35	35	»	»	»	38	7,0	161 638	9 527
»	44	44	»	»	»	»	6,3	94226	6 145
»	»	388	»	»	»	»	10,0	202 830	19 919
»	71	71	»	»	»	»	8,0	105 263	4 734
»	197	197	»	»	»	»	9,0	151 078	24 690

Les rapports du Gouvernement et des Compagnies.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS des ÉTATS ET DES CHEMINS.	PARCOURS	LONGUEUR des chemins exploités	
			à une voie.	à deux voies.
			kil.	kil.
Prusse. (SUITE.)				
21.	Chemin de l'Est.	Krenz à Königsberg, par Bromberg et Dirschau.	388	•
	Et embranchement	de Dirschau à Dantzig.		
22.	Prince Guillaume.	Vohwinkel à Steele.	32	•
23.	Rhénan.	Cologne à Herbesthal (frontière de Prusse), par Aix-la-Chapelle.	20	65
24.	Saarbruck (de).	de la Frontière française, près Forbach, à Neunkirchen (frontière bavaroise), par Saarbruck.	43	•
25.	Thuringe (de la).	Halle à Gerstungen, par Weissenfels, Weimar, Erfurt, Gotha, Ecsenach.	90	99
26.	Westphalie (de l'État de).	Hamm à Warburg, par Sœst et Paderborn.	76	•
27.	Guillaume (Haute Silésie).	Kosel à Oderberg, par Ratibor.	53	•
28.	Chemin de Ceinture à Berlin. . . . .	. . . . .	10	•
Autriche.				
29.	Chemin de l'État du Sud.	Murzzuschlag à Laibach, par Gratz.	315	•
30.	Chemin de l'État du Nord.	Olmütz à Bodenbach (frontière de Saxe), par Prague.	470	•
	Et embranchement	Trubau à Brunn.		
31.	Chemin de l'État du Sud-Est.	Marchegg à Szolnok, par Presbourg, Gran, Waitzen et Pest.	332	•
32.	Chemin de l'État de l'Est.	Myslowitz, Szczakowa, Cracovie.	70	•
33.	Chemin de l'Empereur Ferdinand Nord.	Vienne à Oderberg.		
	Et embranchements	Lundenburg à Brunn, Prerau à Olmutz, Florisdorf à Stockerau, Gänserndorf à Marchegg, Oderberg à Annaberg.	730	93
34.	Vienne à Gloggnitz.	par Modling et Neustadt.	36	48
	Et embranchements	de Modling à Laxenburg, et de Neustadt à Kazelsdorf.		
35.	Vienne à Bruck-sur-Leith. . . . .	. . . . .	41	•
36.	Linz - Budweis - Gmunden.	Budweis à Gmunden, par Urfuhr et Zinz.	199	•
37.	Prague-Lahna. . . . .	. . . . .	48	•

LONGUEUR des chemins exploités.			LONGUEUR des voies accessoires p ^r 100 kilo- mètres de chemin.	DESCRIPTION SOMMAIRE.				PRIX TOTAL de premier établisse- ment par kilomètre.	RECETTE brute de l'exploita- tion par kilomètre.
par les gouver- nements,	par les compa- gnies,	en totalité.		SOUTERRAINS. — Nombre total.	VIADUCS. — Nombre total.	PONTS. — Nombre total.	STATIONS. — Distance moyenne		
kil.	kil.	kil.				kil.	fr.	fr.	
388	"	388	"	"	"	194	11,4	"	3 819
"	32	32	"	"	"	4	3,6	231 965	12 624
"	85	85	20	5	4	78	7,0	416 849	36 511
43	"	43	"	"	"	"	8,6	"	"
"	189	189	"	2	6	429	11,1	278 418	19 437
76	"	76	"	"	"	139	6,3	"	7 975
"	53	53	"	"	"	62	6,0	101 712	15 100
10	"	10	"	"	"	"	"	"	"
315	"	315	"	"	"	"	7,9	278 830	26 520
470	"	470	"	"	"	"	9,2	238 800	23 120
332	"	332	"	"	"	"	10,7	179 890	26 830
70	"	70	"	"	"	"	11,7	110 600	7 139
"	113	113	"	1	9	708	10,3	224 336	42 069
"	84	84	"	"	"	"	3,3	307 330	46 930
"	41	41	"	"	"	"	4,1		
"	199	199	"	"	"	"	12,4		
"	46	46	"	"	"	"	12,0	"	"

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS des ÉTATS ET DES CHEMINS.	PARCOURS.	LONGUEUR des chemins exploités	
			à une voie.	à deux voies.
			Kil.	M.
États secondaires.				
38.	Bade (chemin de l'État de) Et embranchements	Mannheim à Haltingen, près Bâle, en Suisse, par Heidelberg, Carlsruhe, Fribourg. d'Oos à Baden-Baden, et d'Appenweier à Kehl, vis-à-vis Strasbourg.	80	204
39.	Bavière (chemin de l'État de) Et embranchement	de Hof à Kempten, par Lichtenfels, Bamberg, Nuremberg, Pleinfeld, Augsburg.	472	8
40.	Nuremberg à Furth.	d'Augsbourg à Munich.	7	•
41.	Louis du Palatinat. Et embranchement	de Ludwigshafen, sur le Rhin, vis-à-vis Mannheim, à Bexbach (frontière prussienne), vers Saarbruck, par Kaiserslautern, de Schifferstadt sur Speyer.	115	•
42.	Brunswick (ch. de l'État du duché de) Et embranchement	Brunswick à Harzbourg. dans la direction de Magdebourg.	87	12
43.	Hanovre (réseau du royaume de)	Chemins rayonnant de Harzbourg : à Minden, à Biême, à Hartbourg, vis-à-vis Hambourg, à Brunswick, à Hildesheim, et à Alfeld dans la direction de Cassel.	298	106
44.	Mein-Necker. Et embranchement	Francfort-sur-le-Mein à Heidelberg par Darmstadt et Friedrichsfeld.	89	•
45.	Francfort-Hanau.	de Francfort sur Offenbach.	16	•
46.	Taunus (du). Et embranchement	Francfort-sur-le-Mein. Hanau. Wiesbaden à Francfort-sur-le-Mein, par Mayence et Höchst, de Biebrich.	43	•
47.	Hochst-Soden (embr. du Taunus).		6	•
48.	Mein-Weser.	Francfort près Guntershausen et Cassel.	186	14

1. Non compris 19 kilomètres de Brunswick à Lehrte (frontière du Hanovre), comptés d'après
2. Compris 57 kilom. construits par les États limitrophes, ce qui réduit les chemins établis par l'État
3. Exploité temporairement par l'État.

LONGUEUR des chemins exploités.			LONGUEUR des voies accessoires p ^r 100 kilo- mètres de chemin.	DESCRIPTION SOMMAIRE.				PRIX TOTAL de premier établisse- ment par kilomètre.	RECETTE brute de l'exploita- tion par kilomètre.
par les couvet- tements.	par les compa- gnies.	en totalité.		SOUTERRAINS. — Nombre total.	VIADUCS. — Nombre total.	PONTS. — Nombre total.	STATIONS. — Distance moyenne		
kil.	kil.	kil.					kil.	fr.	fr.
284	»	284	8	3	48	106	5,6	241 470	18 450
480	»	480	»	2	10	61	6,7	190 537	11 307
»	7	7	»	»	»	»	7,0	»	»
»	115	115	25	12	7	308	6,8	212 390	13 750
99	»	99 ¹	19	»	»	210	7,0	117 293	23 448
404	»	404 ²	18 ²	»	»	150	7,9	167 728	18 810
89	»	89	»	»	»	»	5,6	259 637	15 414
»	16	16	»	»	»	»	4,0	199 397	12 829
»	43	43	13	»	»	29	6,1	175 710	24 930
»	6	6	»	»	»	»	6,0	»	»
200	»	200	»	»	88	70	8,7	288 770	11 794

dans le réseau hanovrien.

de Hanovre à 347 kilom. — La proportion des voies de garage se rapporte à cette dernière longueur

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS des ÉTATS ET DES CHEMINS.	PARCOURS.	LONGUEUR des chemins exploités		
			à une voie.	à deux voies.	
			kil.	kil.	
États secondaires. (SUITE.)					
49.	Frédéric-Guillaume du Nord.	Gerstungen à Warburg, par Cassel et Humme.	128	14	
	Et embranchement	de Humme à Carlshafen.			
50.	Altona-Kiel.	par Elmshorn et Neumunster.	106	"	
51.	Glückstadt-Elmshorn.		17	"	
52.	Rendsbourg-Neumunster.		33	"	
53.	Lubeck-Buchen.		47	"	
54.	Mecklembourg (du).	Hagenow à Rostock, par Kleinen et Butzow.	145	"	
	Et embranchement	de Kleinen à Wismar, et de Butzow à Gustrow.			
55.	Leipzig-Dresde.	par Riesa.	115	"	
56.	Saxe.	Chemin de l'État, Saxe-Bavière.	Leipzig à Hof, par Werdau.	54	126
57.		Id. Saxe-Bohême.	Dresde à Bodenbach.	41	25
58.		Id. Saxe-Silésie.	Dresde à Gorlitz, par Bautzen et Lobau.	91	14
59.		Chemnitz-Riesa.		44	22
60.	Lobau-Zittau.		34	"	
61.	Wurtemberg (chem. de l'État du royaume de).	Heilbronn à Friedrichshafen, par Stuttgart et Ulm.	244	4	
62.	Bernbourg-Cothen.		20	"	
Totaux. . .			7081	1409	

1. Exploité temporairement par l'État.

LONGUEUR des chemins exploités.			LONGUEUR des voies accessoires pr 100 kilo- mètres, de chemin.	DESCRIPTION SOMMAIRE				PRIX TOTAL de premier éta- blisse- ment par kilomètre.	RECETTE brute de l'exploita- tion par kilomètre.
par les grou- pements	par les com- ptes.	en totalité.		SOUTERRAINS. — Nombre total.	VIADUCS. — Nombre total.	PONTS. — Nombre total.	STATIONS. — Distance moyenne.		
kil.	kil.	kil.					kil.	fr.	fr.
	142	142	»	4	50	353	7,1	270 633	8 967
»	106	106	»	»	2	43	7.6	120 861	12 651
»	17	17	»	»	»	8	17,0	100 870	3 608
»	33	33	»	»	1	9	11,0	45 523	5 395
»	47	47	»	»	»	»	7,8	168 547	9 269
»	145	145	»	15	8	189	11,5	163 161	7 031
»	115	115	11	»	»	»	4,4	225 806	34 209
180	»	180	»	»	10	100	9,5	297 913	25 364
66	»	66	»	2	7	164	4,1	297 067	15 203
105	»	105	»	»	16	161	7,0	227 331	18 949
66	»	66	»	1	12	89	4,4	373 903	10 625
34 ²	»	34	»	»	»	»	5,7	273 878	6 667
248	»	248	14	»	»	»	5,3	217 074	13 388
»	20	20	»	»	»	»	10,0	»	»
4494	3 996	8 490		Moyennes. . .			8,1	212 438	19 927

CHEMINS BELGES¹

NOMS DES LIGNES.	CHEMINS DE L'ÉTAT.			CHEMINS DES COMPAGNIES.			PRIX TOTAL de premier établisse- ment par kilomètre A.
	exploités.	non exploités.	Total.	Exploités.	Non exploités.	Total.	
	exploités.	non exploités.	Total.	Exploités.	Non exploités.	Total.	
<i>Ligne du Nord.</i>							
De Bruxelles à Malines et Anvers et branche de raccordement entre les stations du Nord et du Sud à Bruxelles.	53	»	53	»	»	»	268 300
D'Anvers à Rotterdam (partie sur le territoire belge)	»	»	»	30	»	30	
<i>Entre la ligne du Nord et celle de l'Ouest.</i>							
De Malines à Schelle.	»	»	»	»	20	20	
Chemin du pays de Waes, d'Anvers à Gand. De Lokeren à Termonde.	»	»	»	50	»	50	
	»	15	15*	»	»	»	
<i>Ligne de l'Ouest.</i>							
De Malines à Termonde, Gand, Bruges et Ostende.	123	»	123	»	»	»	155 000
<i>Entre la ligne de l'Ouest et celle du Sud-Ouest.</i>							
Chemin de la Flandre occidentale, de Bruges à Courtray, Ypres et Poperinghe.	»	»	»	100	»	100	
Embranchement d'Ingelmunster à Deynze par Thielt.	»	»	»	30	»	30	
Chemin de Gand vers Lille et Tournay par Courtray.	78	»	78	»	»	»	146 500
De Wetteren à Alost.	»	15	15*	»	»	»	
De Termonde à Ath.	14 ²	41	55*	»	»	»	
De Tournay à Jurbise.	48	»	48*	»	»	»	
De Denderleuw à Bruxelles.	»	25	25*	»	»	»	
<i>Ligne du Sud-Ouest.</i>							
De Bruxelles à Tubise, Mons, Quiévrain. . .	81	»	81	»	»	»	268 300
<i>Entre la ligne du Sud-Ouest et celle du Sud-Est.</i>							
De Mons à Hautmont près Maubeuge (partie sur le territoire belge).	»	»	»	»	15	15	
De Mons à Manage.	»	»	»	25	»	25	
Embranchement sur l'Olive.	»	»	»	5	»	5	
De Manage à Erquelines.	»	»	»	»	25	25	

1 Fin 1854.

2. Termonde à Alost.

3 De Bruxelles à Hulpe.

Le signe * indique les lignes exploitées par l'Etat mais construites pour son compte par des Compagnies qui entrent en partage dans les recettes.

A. Non compris le matériel roulant, les accessoires de la voie, le mobilier des gares et stations et les frais généraux.

Nous ne donnons que le prix d'établissement des chemins construits par l'Etat; il a été impossible d'obtenir ces renseignements pour ceux exécutés par les Compagnies.

(SUITE.)

NOMS DES LIGNES.	CHEMINS DE L'ETAT			CHEMINS DES COMPAGNIZ			PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre A.
	ex. lochs.	non exploités.	Total.	exploités.	non exploités.	Total.	
	<i>Entre la ligne du Sud-Ouest et celle du Sud-Est.</i>						
De Braine-le-Comte à Charleroy et Namur. . .	79	"	79	"	"	"	226 200
De Manage à Court St Etienne.	"	"	"	15 ¹	20	35	
De Louvain à Charleroy	"	"	"	"	65	65	
De Charleroy à Erquelines (C ^o du Nord de France).	"	"	"	"	"	"	
De Charleroy à Vireux.	"	"	"	30	"	30	
De Charleroy à Virieux.	"	"	"	55	"	55	
Embranchement de Berzée à Laneffe.	"	"	"	7	"	7	
De Walcourt à Morialmé.	"	"	"	12	"	12	
D'Yve à Florence.	"	"	"	10	"	10	
De Philippeville (embranchement).	"	"	"	5	"	5	
De Couvin (embranchement).	"	"	"	5	"	5	
De Châteineau à Morialmé.	"	"	"	"	17	17	
<i>Ligne du Sud-Est.</i>							
Chemin du Luxembourg, de Bruxelles à Luxembourg par Namur (partie sur le ter- ritoire belge) C ^o anglaise du Great Luxem- bourg.	"	"	"	15 ²	178	193	
<i>Entre la ligne du Sud-Est et celle de l'Est.</i>							
De Namur à Liège (C ^o du Nord de France). . .	"	"	"	73	"	73	
De Pepinster à Spa.	"	"	"	13	"	13	
<i>Ligne de l'Est.</i>							
De Malines à Louvain, Tirlemont, Liège et la frontière de Prusse.	135	"	135	"	"	"	361 930
<i>Entre la ligne de l'Est et celle du Nord.</i>							
Chemin (De Landen à Saint-Trond et Has- du selt.	11	"	11	"	"	"	121 630
Limbourg (De Saint-Trond à Hasselt.	17	"	17 [*]	"	"	"	
De Conlich à Turnhout par Liege et Heren- thal.	"	45	45 [*]	"	"	"	
Totaux.	639	141	780	480	340	820	

1600 kilom.
approximativement.

1. De Manage à Nivelles.

2. De Bruxelles à la Hulpe.

3. Non compris le matériel roulant, les accessoires de la voie, le mobilier des gares et stations et les frais généraux.

CHEMINS AMÉRICAINS¹

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES ÉTATS.	NOMBRE des LIGNES.	LONGUEUR des CHEMINS EXPLOITÉS	PRIX TOTAL de premier éta- blissement par kilomètre.
			kilom.	fr.
1.	Maine.	11	678	100 805
2.	New-Hampshire.	16	820	106 510
3.	Vermont.	7	656	114 140
4.	Massachusetts.	43	2053	146 250
5.	Rhode-Island.	1	80	176 445
6.	Connecticut.	15	1071	105 161
7.	New-York.	31	3779	134 837
8.	New-Jersey.	11	699	98 397
9.	Pennsylvania.	64	2343	134 815
10.	Delaware.	2	26	124 615
11.	Maryland.	3	956	147 003
12.	Virginia.	21	1077	63 777
13.	North-Carolina.	4	575	65 241
14.	South-Carolina.	9	1058	67 816
15.	Georgia.	15	1415	65 200
16.	Alabama.	6	351	55 464
17.	Mississippi.	4	248	66 847
18.	Louisiana.	8	273	32 598
19.	Texas.	1	»	»
20.	Tennessee.	9	601	70 083
21.	Kentucky.	9	373	71 951
22.	Ohio.	46	4175	65 673
23.	Indiana.	19	1803	67 088
24.	Illinois.	26	2020	79 077
25.	Michigan.	3	912	98 538
26.	Wisconsin.	4	285	72 000
27.	Iowa.	2	»	»
28.	Florida.	2	87	15 574
29.	Missouri.	6	96	56 250
	Totaux et moyenne.	398	28513	96 520

Si l'on compare les chiffres du tableau des chemins français (p. 508-509) à ceux de l'enquête, on trouve, sur la plupart des chemins, des différences insignifiantes ne dépassant pas 6 à 7 pour 100.

¹ Exercice 1858. D'après le *Boston American Railway Journal*.

Il n'y a de différence notable que pour les chemins d'Orléans, Strasbourg, Frouard à Metz, Paris à Lyon.

Pour le chemin d'Orléans, le chiffre de l'enquête est de 568,000 fr., le nôtre de 444,000 fr. Nous maintenons le nôtre, parce qu'il renferme les dépenses faites au moment de la fusion (30 juin 1852). Le chiffre de l'enquête correspond probablement à une époque antérieure.

Pour le chemin de Strasbourg, notre chiffre est de 457,000 fr., celui de l'État 394,000 fr. La différence tient à ce que, au moment où le chiffre de l'enquête a été arrêté, une partie notable de la dépense à faire n'était pas encore connue et ne pouvait être évaluée que par approximation.

Pour le chemin de Frouard à Metz, la différence est considérable. Le chiffre de l'enquête est de 278,000 fr.; le nôtre 352,000 fr. Ce dernier, extrait des livres de la Compagnie, doit être considéré comme parfaitement exact.

Pour le chemin de Paris à Lyon, nous avons indiqué pour la dépense moyenne par kilomètre 558,000 fr., l'État 518,000: mais notre chiffre correspond à une époque plus récente et comprend toute la dépense pour le chemin de Paris à Lyon, tandis que celui de l'État ne comprend que la dépense de Paris à Châlons.

Si l'on prend la moyenne des prix de construction dans différents pays, on remarque qu'elle est fort différente.

En Angleterre, la moyenne était, d'après une enquête faite par le Parlement à la fin de 1850, de 570,000 fr. par kilomètre, la longueur exploitée n'étant alors que de 10,656 kilomètres. Au 1^{er} janvier 1859, la longueur exploitée étant de 15,209 kilomètres, la moyenne était descendue à 535,000 fr. Et, si l'on ne dépasse pas les devis, ce qui est peu probable, elle se réduira à 450,000 fr. quand tous les chemins projetés seront établis.

En France, à la fin de 1855, la longueur exploitée étant de 4,000 kilomètres, la moyenne des frais de construction était de 391,000 fr.

Aujourd'hui, la longueur du réseau exploité étant de 9,440 kilomètres, elle est de 330,000 fr. environ.

En Belgique, d'après les comptes rendus de l'administration

belge, à la fin de 1859, pour une longueur égale à 600 kilomètres appartenant à l'État (y compris le chemin de Mons à Manage que l'État venait d'acquérir), la moyenne de la dépense de construction, en répartissant la partie concernant le matériel sur 745 kilomètres, est de 524,000 francs.

Nous ne connaissons pas le chiffre des dépenses faites par les Compagnies sur la partie du réseau qu'elles ont construit et qui est resté leur propriété.

A la fin de l'année 1859, pour une longueur de chemin construits en Allemagne, égale à 12,500 kilomètres, le prix de revient par kilomètre était d'environ 255,000 francs.

Un quart de ces chemins, ou à peu près, était à double voie.

Aux États-Unis, en 1855, la longueur des chemins exploités étant de 28,515 kilomètres, et ces chemins étant tous à une seule voie, la dépense moyenne par kilomètre n'était que de 96,500 fr.

Au 1^{er} janvier 1858, la longueur était de 41,900 kilomètres, dont 16 à deux voies. Nous avons aussi indiqué que le prix de revient à cette époque était, d'après les tableaux statistiques publiés par le gouvernement français, de 131,000 francs. Ce chiffre serait, d'après M. Grenier, trop élevé, puisqu'il indique une diminution dans la moyenne depuis 1855.

On s'explique aisément les énormes différences des prix de construction dans différents pays et dans un même pays, en les décomposant dans leurs éléments. En voici le détail :

CLASSIFICATION DES DÉPENSES¹.

CHAPITRE I. FRAIS GÉNÉRAUX.

(On comprendra dans les frais d'études les dépenses effectuées par l'Etat antérieurement à la loi qui autorise la construction ou la concession.)

En Angleterre, les frais généraux comprennent aussi les dépenses faites pour obtenir du parlement l'acte de concession.

1. Frais d'études.	Frais d'études pour la rédaction des avant-projets avant l'obtention de la concession ; remboursements de frais d'études à divers, indemnités payées aux titulaires de la concession.
2. Frais et charge de la concession	Frais d'administration avant la concession portés au compte de premier établissement. Dépenses de l'administration générale de la Compagnie afférentes à la construction, jetons de présence et indemnités aux administrateurs, conseils techniques et judiciaires de la Compagnie, personnel de l'administration centrale, frais de bureau et imprimés, publicité, agence à l'étranger, frais de voyages, loyers et indemnités de logement, gratifications, chauffage et éclairage, contributions, assurances, etc.
3. Administration. ¹	Appointements de l'ingénieur en chef, des ingénieurs ordinaires, des conducteurs, piqueurs, surveillants de travaux, employés de bureaux, payeurs, etc.
4. Direction et conduite des travaux. . .	Frais de bureaux des ingénieurs, imprimés pour la comptabilité, frais de publicité dans les départements, frais de voyage et déplacement du personnel de la construction, chauffage et éclairage, loyers des bureaux des ingénieurs et de leurs employés, indemnités diverses au personnel de la construction.
5. Frais divers. . .	Frais judiciaires (non compris ceux d'expropriation des terrains), indemnités aux employés congédiés, service médical, secours aux blessés ou aux familles des employés ou ouvriers tués, indemnités de gilette, résiliation d'entreprises, habillement des agents, etc.
6. Acquisition de terrains. . . .	Prix d'acquisition de terrains par voie amiable ou judiciaire, y compris les indemnités aux propriétaires pour valeur des bâtiments, constructions, plantations, et aux locataires ou propriétaires pour privation de jouissance, perte de récoltes, déplacement d'industrie, etc.
7. Frais accessoires, indemnités, frais judiciaires	Frais accessoires, indemnités pour occupation provisoire, pour dommages causés par les études de tracé, pour occupation temporaire et extraction de matériaux, frais de rédaction et

CHAPITRE II. TERREAINS.

¹ D'après les instructions envoyées par M. le ministre des travaux publics aux ingénieurs de l'Etat pour en dresser le tableau.

CHAPITRE II. TERRAINS. (Suite).	7. Frais accessoires, indemnités, frais judiciaires. (Suite).	d'impression des plans parcellaires, d'expertises, de rédaction d'actes, frais judiciaires relatifs à l'expropriation.
CHAPITRE III. TERRASSEMENTS.	8. Terrassements y compris les travaux de consolidation	Terrassements, frais de toute nature relatifs à l'exécution des terrassements (non compris les frais de direction et de conduite des travaux et l'acquisition des terrains), travaux en rivière pour consolidation des remblais, murs de soutènement, revêtements en maçonnerie, perrés, gazonnement, semis et plantations des talus, etc.
(Ce chapitre comprend tous les travaux exécutés en dehors du chemin de fer et mis à sa charge.)	9. Ouvrages d'art courants. . .	Aqueducs et siphons pour l'écoulement des eaux, ponts en dessus et en dessous pour passages de routes et chemins, passerelles, ponts sur ruisseaux et rivières non navigables, ponts sur canaux artificiels, ponts tournants, ouvrage divers en maçonnerie, en métal ou en bois, etc.
CHAPITRE IV.	10. Ponts sur rivières navigables. . .	Ponts sur rivières navigables, non compris les terrassements aux abords, y compris les arches supplémentaires, ou viaducs pour l'écoulement des crues.
OUVRAGES D'ART.	11. Viaducs. . .	Viaducs pour la traversée des vallées sèches ou arrosées par des ruisseaux ou rivières non navigables, non compris les terrassements aux abords.
	12. Souterrains..	Perçement des puits, excavations des galeries et revêtements en maçonnerie, non compris l'exécution des tranchées aux abords.
	13. Clôtures sèches et vives.	Clôtures proprement dites, murs de clôture, palissades, fossés, treillages et lisses, haies vives.
CHAPITRE V.	14. Maisons de gardes et de cantonniers.	Maisons de gardes des passages à niveau, y compris celles qui sont élevées sur divers points pour le logement des garde-lignes, cantonniers, pontonniers et autres agents proposés à la surveillance et à l'entretien de la voie, puits et accessoires divers de l'habitation.
CLOTURES DU CHEMIN.	15. Passages à niveau. . .	Guérites de garde-lignes et de cantonniers, etc. Pavages et barrières.
CHAPITRE VI.	16. Gares et stations. . . .	Bâtiments isolés pour l'administration, les bureaux et le logement des employés, bâtiments et halles couvertes pour le service des voyageurs et de la grande vitesse; buffets, écuries et remises pour les correspondances, halles et quais couverts et découverts pour les marchandises, estacade.
BATIMENTS		

CHAPITRE VI.

BÂTIMENTS.

(Suite.)

16. Gares et stations. (Suite.)
- pour le déchargement des houilles, bâtiments pour les bureaux du service des marchandises, maisons et guerites des portiers et des surveillants, lieux d'aisance, écuries pour le camionnage.
- Pavages des cours et des rues d'accès, travaux de construction pour les grues et appareils divers, etc.
- Bâtiments pour logement et bureaux du service du matériel (ateliers et dépôts), magasins des approvisionnements, ateliers divers, lieux d'aisance, dépôts et remises de machines, quais à coke, fosses à piquer le feu.
- 17 Ateliers et remises du matériel.
- Remises de voitures et de wagons.
- Bâtiments des machines à vapeur des ateliers, fours à réverbère, fourneaux de chaudières, et divers, usines à gaz (bâtiments, travaux de maçonnerie, fourneaux, cornues et gazomètres).
- Bâtiments des ateliers du petit entretien du matériel.

18. Mobilier des gares et stations. . . .

Meubles des salles d'attente, mobilier des bureaux de l'administration et des gares et stations, appareils d'éclairage, compteurs, becs de gaz, lampes. appliques, lanternes et signaux à la main, calorifères et poêles, chauffe-
rettes pour les voitures, balances et bascules, grues et appareils divers à élever les fardeaux.

Pompes à incendie. outils et ustensils des gares et stations, horloges des stations, omnibus, voitures de factage, camions appartenant à la Compagnie, etc.

CHAPITRE VII.

MOBILIER.

19. Outillage des ateliers et dépôts. . .

Machines-outils, machines à vapeur, marteaux, pilons et martinets, machines à vapeur et chaudières (non compris les fondations et fourneaux) grues et engins divers non compris les fondations, chariots roulants des ateliers, des dépôts et des remises, outils et ustensiles des ateliers et des dépôts, paniers et sacs à coke, agrès et outillage des machines et des wagons de secours, ustensiles des graisseurs, signaux des machines, mobilier des bureaux, appareils de chauffage et d'éclairage, pompes à incendie du service du matériel et du magasin, horloges et moutrer des mécaniciens, etc

CHAPITRE VIII. VOIE DE FER.	20. Ballast. . . .	Sables et pierres cassées, briques et briquetons, scories de forges, etc., y compris l'extraction ou la fabrication et le répandage.
	21. Rails, coussinets, chevillettes, etc.	Coussinets, chevillettes, coins, éclisses, selles, plaques de joints, entre-toises en fer, traverses, longuerines, plateaux en bois ou en fonte, des en pierres, achats et transports des matériaux divers sur les chantiers.
	22. Pose de la voie.	Transport des chantiers de dépôts au lieu d'emploi, mise en place, assemblage, perçage et rivure des rails, dressage de la voie et régauge au ballast, entretien jusqu'au moment de la mise en service.
	23. Plaques tournantes. . . .	Achat, fondation et pose.
CHAPITRE IX. ACCESSOIRES DE LA VOIE.	24. Changements et croisements de voie. . . .	Achat ou construction et pose, y compris les leviers ou excentriques de manœuvre.
	25. Signaux fixes.	Appareils divers pour signaux, disques à distance des stations, signaux des souterrains, des ponts tournants et des passages à niveau, y compris les lanternes et la pose. Poteaux kilométriques, poteaux indicateurs, etc.
	26. Outillage de la voie. . . .	Outils des cantonniers et des gardes, brouettes, lorries, etc. Appareils d'éclairage des passages à niveau, signaux à la main, appareils de chauffage des maisons de gardes, appareils d'éclairage et de chauffage et mobilier des bureaux.
CHAPITRE X. ALIMENTATION DES MACHINES.	27. Machines à vapeur et pompes à bras. . . .	Machines à vapeur, machines, chaudières, fourneaux, fondation et bâtiments, pompes, réservoirs d'air, tuyaux d'aspiration et de refoulement, pompes à bras fixes ou portatives.
	28. Grues hydrauliques. . . .	Grues à colonne, grues appliquées, y compris fondation et pose, grues-réservoirs, non compris les conduites souterraines.
CHAPITRE XI.	29. Réservoirs, tuyaux, puits et prises d'eau.	Réservoirs en tôle, en fonte, en bois, etc., y compris les supports en maçonnerie ou en charpente, bassins en maçonnerie, puits et prises d'eau en rivière, conduites.
	30. Télégraphe électrique.	Valves et robinets de distribution, achat et pose. Poteaux, cloches, supports, tendeurs, fils, manipulateurs, récepteurs, sonneries, piles, etc., achat et pose.

CHAPITRE XII.	}	31. Machines locomotives et tenders.	} Machines, locomotives, tenders.
		32. Voitures et wagons. . . . .		} Voitures de voyageurs, wagons de service, wagons à marchandises.
CHAPITRE XIII.	}	33. Dépenses non classées.	} Dépenses non classées.
CHAPITRE XIV.	}	34. Intérêts payés pendant la construction.	} Intérêts des actions et des obligations payées sur le capital, intérêts pour versements anticipés. — Déduction faite des intérêts reçus pour placements de fonds.
		35. Approvisionnements et fonds de roulement.	
CHAPITRE XV.	}		

Nous voudrions pouvoir indiquer le chiffre de la dépense correspondante à ces différents titres pour les principales lignes en exploitation ; mais il serait bien difficile de trouver dans la comptabilité des Compagnies les renseignements nécessaires pour l'établir ; il est impossible d'ailleurs d'obtenir de ces Compagnies l'autorisation de se livrer à de pareilles investigations.

Nous sommes donc forcé de nous borner à présenter l'aperçu des frais de construction tels qu'ils ont été classés dans les comptes rendus publiés ou qui nous ont été communiqués officieusement.

L'étude attentive des détails des prix de revient, tout incomplets qu'ils sont, n'en sera pas moins très-utile : nous en tirerons des conséquences qui ne seront pas sans intérêt pour les ingénieurs chargés de rédiger les devis de nouvelles lignes.

elle a atteint la somme de 177,000 fr., et sur celui de Vincennes, dont 5 kilomètres sur 15 ont été établis dans l'intérieur même de la capitale, 225,000 fr.; mais ces chemins, construits aux abords de Paris, se trouvent dans des conditions exceptionnelles et ne devraient être comparés qu'aux chemins anglais de Blackwall et de Greenwich, qui ont coûté beaucoup plus cher.

En Belgique, les frais d'acquisition de terrains pour les lignes du Nord et de l'Ouest n'ont pas atteint 40,000 fr., et, pour le réseau de l'Est et du Sud, 66,000 fr. Le terrain pour le raccordement du Nord et du Sud a coûté 177,000 fr.; mais c'est encore là un chemin exceptionnel construit, pour ainsi dire, dans les faubourgs de Bruxelles.

En Allemagne, on a obtenu les terrains à meilleur marché encore qu'en Belgique; ce n'est que sur quelques lignes que la dépense d'acquisition a atteint le chiffre de 50 à 55,000 fr. par kilomètre; sur la plupart des autres elle n'a été que de 15 à 16,000 fr.

Le faible chiffre de cette dépense tient à ce que les chemins allemands, construits, pour la plupart, à une seule voie, et desservant un trafic beaucoup moins important que les chemins anglais et français, occupent beaucoup moins de terrain, et au prix très-sensiblement moins élevé du terrain en Allemagne que dans les deux autres pays: ainsi l'hectare du terrain n'a coûté en Allemagne que de 2 à 4,000 fr., tandis qu'il est porté pour les chemins anglais de 15 à 20,000 fr., et qu'il a été payé sur le chemin d'Orléans 12,800 fr.¹; sur celui de Saint-Étienne à Lyon 20,000 fr.²; sur celui de Strasbourg, entre Paris et Meaux, les prix ont été assez variables: l'hectare, dans Paris, a coûté en nombres ronds 850,000 fr., ce qui fait 82 fr. le mètre; à la Chapelle, 91,000 fr.; à la Villette, 19,000 fr.; aux environs de Noisy-le-Sec, 14,000 fr.; aux environs de Lagny, 25,000 fr.; près de Dammard, 6,000 fr.; près d'Esbly,

¹ Ce prix est un prix moyen pour toute la ligne et comprend l'indemnité payée pour les terrains dans l'intérieur de Paris ou aux environs; si l'on en distrait le prix des terrains dans Paris et aux environs, le prix de l'hectare se réduit à 10,000 fr.

Sur ce chemin, le premier construit en France pour un transport de voyageurs, les terrains ont été taxés par le jury à un prix exorbitant. On est loin d'avoir payé des prix aussi élevés pour les terrains des nouvelles lignes.

8,000 fr.; dans la traversée de Meaux, 60,000 fr., et aux environs de la ville, 12,000 fr.

Quant aux chemins américains, qui ne figurent que dans nos tableaux d'ensemble, ils ont été établis sur des terrains dont une partie a été cédée gratuitement.

Sur les chemins anglais, les travaux d'art, ainsi que ceux de terrassement et de pose de la voie, étant ordinairement confiés à un seul et même entrepreneur, les comptes rendus des Compagnies n'indiquent que la dépense en bloc. Il est facile de reconnaître cependant que cette dépense, en ce qui concerne les travaux d'art et les terrassements des grandes lignes en Angleterre, est beaucoup plus élevée que sur les chemins des autres pays. Si l'on déduit de 100 à 120,000 fr. pour la chaussée, la voie et ses accessoires, on trouve que, sur les chemins de North-Middland, elle n'a pas été moindre de 350,000 à 400,000 fr. par kilomètre, et, sur les chemins de Londres à Brighton et Londres à Bristol, moindre de 400,000 à 450,000 fr.

En France, elle n'a été, sur le chemin du Nord, que de 67,000 fr., sur ceux de Strasbourg et d'Orléans, que de 110,000 à 120,000 fr., et sur les chemins de Lyon, de Rouen et du Havre, de 200,000 à 220,000 fr.

En Belgique, la même dépense a été fort modérée; nous la trouvons de 52,000 fr. environ pour le chemin de l'Ouest, 62,000 fr. pour ceux du Nord, 88,000 fr. pour ceux du Midi, et 200,000 fr. pour ceux de l'Est. En moyenne, elle est de 104,000 fr.

En Allemagne, elle est faible aussi et très-variable. Pour une partie des chemins prussiens, elle ne dépasse pas 50,000 fr.; pour le chemin de Berlin à Potsdam, elle est de 62,000 fr. Les terrassements et ouvrages d'art des chemins rhénans ont seuls coûté 247,000 fr. Les lignes du Nord et du Sud en Autriche ont dépassé pour les ouvrages de même nature de 110 à 120,000 fr.; mais celles du Sud-Est et de l'Est n'ont dépensé que 62,000 et 29,000 fr. Dans le grand-duché de Bade, les ouvrages d'art et de terrassement ont coûté en moyenne 62,000 fr. par kilomètre; dans le Wurtemberg, 72,000 fr.; dans le Hanovre, 38,000 fr., et dans le Brunswick, 18,000 fr.

Le prix élevé des terrassements et des ouvrages d'art pour les grandes lignes d'Angleterre tient au soin avec lequel ont été construites ces voies du premier ordre, à une époque où on s'exagérait l'importance des faibles pentes, au prix de la main-d'œuvre et aux difficultés d'exécution qu'elles ont présentées. Les différences de prix entre la France et l'Angleterre ne sont toutefois pas aussi grandes qu'on pourrait le supposer. « Après avoir consulté plusieurs ingénieurs français, dit M. Robert Stephenson dans un rapport sur les chemins de fer du Nord, et avoir fait des comparaisons entre leurs devis et les miens, j'ai trouvé que les différences de prix entre les deux pays étaient excessivement minimales. On peut regarder comme identiquement les mêmes les prix de terrassement et de maçonnerie dans les deux pays, et le prix du fer est beaucoup plus élevé en France qu'en Angleterre. La main-d'œuvre est certainement moins chère qu'en Angleterre, mais l'étendue des entreprises qui sont maintenant en projet ou en cours d'exécution tend à la faire monter, et les frais de travaux terminés à l'époque actuelle prouvent que cette différence n'est réellement que nominale. »

En Belgique, la main-d'œuvre et les matériaux de construction sont à des prix bien moins élevés qu'en France : c'est ce qui explique le coût, relativement minime, des ouvrages d'art et de terrassement. Il en est de même en Allemagne, où la journée du terrassier, payée en France de 2 à 5 fr., n'a pas coûté au delà de 1 fr. à 1 fr. 50. On devra observer aussi que dans ces deux pays une partie des travaux de terrassement n'ont été exécutés que pour une seule voie, et qu'en Allemagne surtout on ne s'est pas assujéti à des conditions de pentes et de courbure aussi rigoureuses qu'en France.

Aux États-Unis, les ingénieurs ayant établi les chemins de fer avec des pentes plus fortes encore que celles des chemins allemands et des rayons de courbure plus petits, les travaux d'art et de terrassement ont dû coûter moins encore qu'en Allemagne.

M. Maniel, dans son cours à l'École des ponts et chaussées, indique de la manière suivante le prix des terrassements sur différents chemins de fer :

MOYENNE DE FRAIS DE TERRASSEMENT PAR KILOMÈTRE ¹.

Chemins belges.	9,000 fr.
Saint-Quentin.	52,000
Rouen.	50,000
Tours à Poitiers.	99,000
Moyenne de quelques chemins anglais.	150,000
Sur le chemin de Mulhouse les frais seront d'environ.	40,000

MOYENNE DU PRIX PAR MÈTRE CUBE DE TERRASSEMENT, TRANSPORT DES TERRES COMPRIS.

Chemins belges.	0 ^r ,76
Ligne de Saint-Quentin.	1,59
— d'Orléans.	1,50
— de Rouen	1,60
— de Nîmes.	1,45
De Tours à Poitiers, les terres étant transportées à des distances atteignant 4,000 mètres.	2,05
Chemins anglais, déblais en partie dans le rocher.	2,61

Si la dépense pour les terrassements par kilomètre sur les chemins belges a été aussi faible, cela tient au cube très-réduit de ces terrassements, à la petite distance de transport des terres, et au prix peu élevé de la main-d'œuvre en Belgique. Ainsi, d'après M. Maniel, le cube des terrassements sur les chemins belges n'aurait été, par kilomètre, que de 12^m,60, tandis que sur le chemin de Creil à Saint-Quentin il a été de 25; sur celui de Rouen, de 25^m,50; d'Orléans, de 55, et de Versailles (rive gauche), de 72.

Les rails en fer et les coussinets en fonte revenant en Angleterre à un prix sensiblement plus faible que sur le continent, et les traverses en sapin n'y coûtant pas très-cher, les frais d'établissement de la voie et de ses accessoires ont dû être plus faibles; mais la différence n'a pu compenser celle que nous avons signalée dans les dépenses pour les terrains, les ouvrages d'art et les ouvrages de terrassement.

En France, l'établissement de la voie a dû coûter plus qu'en Belgique et en Allemagne, par ces raisons que la plupart des chemins y sont à deux voies, que les rails y sont ordinairement plus lourds, et que le trafic y nécessite une plus grande longueur de voies de garage ainsi qu'un plus grand nombre de changements de voie et de plaques tournantes.

¹ Voir de nouveaux renseignements, page 547.

Aux États-Unis, la voie simple a été cons'ruite avec une grande économie en associant le bois au fer; mais elle est moins durable.

Le prix des machines et des wagons, celui des machines surtout, n'est pas sur les différents points du continent aussi variable que celui des terrains et des matériaux pour les travaux d'art ou pour l'établissement de la voie. C'est même en Angleterre qu'a été achetée une grande partie du matériel roulant des chemins belges et allemands. Il en résulte qu'à égalité de trafic la dépense a été partout à peu près la même, soit de 20,000 à 50,000 fr. par kilomètre pour des lignes d'un revenu médiocre (18,000 à 20,000 fr. par kilomètre), et de 50,000 à 60,000 fr. pour celles d'un grand revenu (40,000 à 50,000 fr. par kilomètre).

Après avoir comparé les tableaux de la dépense dans différents pays, il convient de les étudier isolément. Nous nous rattacherons plus particulièrement à l'examen des tableaux des frais de construction des chemins français et des chemins allemands, sur lesquels nous avons pu donner le plus de détails.

Un fait nous frappe tout d'abord à l'examen de ces tableaux, c'est que c'est bien moins le prix de la voie en fer qui rend parfois les chemins de fer si coûteux que celui des terrains et des travaux de toute nature.

Ainsi, pour le chemin du Gard, établi sur un terrain de peu de valeur, dans un pays où la main-d'œuvre est peu coûteuse et dans d'assez bonnes conditions d'exécution, le prix total par kilomètre n'étant que de 211,000 fr., les frais d'acquisition de terrain n'ont pas atteint 19,000 fr., tandis que pour le chemin du Havre, dont les profondes tranchées et les remblais élevés couvrent de grandes surfaces de terrain, ces mêmes frais s'élèvent à 105,000 fr.; pour le chemin de Saint-Germain, qui occupe des terrains précieux, à 106,000 fr., et pour celui de Versailles (rive gauche), dont les immenses travaux ont entamé un nombre considérable de grandes propriétés, au chiffre énorme de 177,000 fr.

On ne manque pas d'observer également une notable différence entre le chiffre de la dépense pour les travaux d'un chemin construit en plaine, presque toujours au niveau du sol, comme le chemin de Metz à Thionville (55,000 fr.), et le chiffre correspondant,

pour une ligne établie dans des conditions d'exécution difficiles, comme le chemin du Havre (220,000 fr. environ¹), ou le chemin de Versailles (rive droite) (315,000 fr.). Et ce n'est pas seulement le volume des terrassements et des maçonneries qui entraîne dans des frais de construction considérables : sur le chemin de Strasbourg, les travaux de consolidation des talus d'une seule tranchée (celle de Gagny) ont coûté 555,652 fr. 85 c.; sur les deux chemins de Versailles, et plus particulièrement sur celui de la rive gauche, on a été forcé de dépenser des sommes importantes pour s'opposer au mouvement des terres et pour assurer la fondation des ponts sur des terrains glaiseux.

Au Val-Fleury, sur le chemin de la rive gauche, les remblais sont assis sur un sol tellement mobile, que l'on eût été forcé peut-être de renoncer à exploiter la ligne, si on ne les eût remplacés temporairement par des estacades en charpente.

Les frais d'établissement de la voie, ordinairement moins élevés que ceux d'acquisition des terrains et des travaux d'art ou de terrassement, sont aussi moins variables. Ainsi, lorsque nous voyons dans nos tableaux, pour des chemins de première classe à deux voies, les frais d'acquisition de terrain, réunis à ceux des travaux d'art et de terrassement, varier de 170,000 fr. (Orléans et Corbeil) à 525,000 fr. (chemin du Havre) par kilomètre, nous trouvons que ceux d'établissement de la voie et de ses accessoires n'ont différé qu'entre les limites de 80,000 fr. (Strasbourg à Wissembourg), et 156,000 (Paris à Lyon), et cette différence eût été moins grande si on eût employé sur le chemin de Wissembourg des rails du poids de 38 kilogrammes par mètre courant, au lieu de rails de 30 kilogrammes².

Les ingénieurs étant d'accord pour adopter, dans la construction des grandes lignes, des dimensions de rails, de traverses, et des épaisseurs de chaussée à peu près semblables, la différence dans les prix de la voie ne provient généralement, quand on compare

¹ Et en déduisant 117,000 fr. pour la voie et ses accessoires.

² Il est vrai qu'au chemin de Versailles (rive droite) le kilomètre a coûté, sans les accessoires, 154,000 francs. Mais la superstructure de ce chemin ayant été pour ainsi dire refaite après l'ouverture, on doit le considérer comme se trouvant dans des conditions exceptionnelles.

des lignes de même ordre, que de celle qui existe entre les prix des matières premières.

Cette différence, pour le fer et la fonte, n'est pas très-sensible dans les diverses provinces d'un même pays, aux mêmes époques; mais elle varie considérablement avec les époques. Ainsi les rails du chemin de Saint-Étienne, en 1828, ont coûté 50 fr. les 100 kilogrammes. Ceux des chemins de Saint-Germain à Versailles, dix années plus tard, étaient payés 42 fr. En 1840, on achetait encore des rails pour certaines fractions du chemin du Nord au prix de 40 fr. En 1846, la Compagnie de l'Est a traité pour ses fournitures de rails à raison de 55 fr. les 100 kilogrammes, rendus sur ses chantiers. En 1852, la même Compagnie ne payait plus les rails nécessaires pour le chemin de Metz à Thionville que 25 fr., et, en 1860, elle achetait 8,000 tonnes pour le chemin de Paris à Mulhouse à raison de 22 fr. à l'usine, soit de 25 à 24 fr. sur les chantiers. D'autres Compagnies les payaient à la même époque 25 fr. sur la ligne. Il est probable que dans l'avenir le prix de 25 fr. ne sera pas dépassé, et que souvent on pourra traiter à des prix inférieurs. Le prix des coussinets en fonte a varié comme celui des rails. La Compagnie de Saint-Germain et celle de Versailles payaient, en 1858, leurs coussinets 35 fr. le quintal métrique; celle de l'Est, en 1852, payait 16 fr. (pour le chemin de Thionville), et 20 fr., en 1860, pour le chemin de Mulhouse.

Le prix des traverses en bois varie non-seulement avec les époques, mais encore avec les localités. Ainsi les traverses que la Compagnie de l'Est payait, en 1846, pour le chemin de Metz à Sarrebruck, 75 fr. le mètre cube, n'ont été payées, en 1852, pour le chemin de Metz à Thionville, que 44 fr. le mètre cube, et, sur le même point de Metz, elles valaient en 1856 55 fr., et, en 1860, 60 fr. Les traverses payées en 1854, à Paris, 75 fr. le mètre cube, se vendent 60 fr. en 1860.

Les prix des matériaux composant la chaussée ne varient guère que suivant les localités; mais les variations sont considérables. Le sable, qui, sur le chemin de Saint-Germain, n'a pas coûté plus de 2 fr. le mètre cube, est revenu, sur le chemin de Lille à la frontière belge, à 10 fr.

Si donc nous supposons un chemin établi avec des matériaux revenant à des prix élevés, tels que celui de 10 fr. par mètre cube de ballast (prix payé au chemin de Lille);

35 fr. par quintal métrique de rails (prix payé pour la ligne de Strasbourg);

25 fr. par quintal métrique de coussinets (prix payé pour la ligne de Strasbourg);

80 fr. par mètre cube de traverses (prix payé également par la Compagnie de l'Est pour les portions de chemins dans le voisinage de Paris); et qu'on en compare la dépense avec celle d'un chemin à deux voies qui aurait été établi à peu près dans les conditions du chemin de Metz à Thionville, on trouve sur le ballast seul, la différence étant de 8 fr. par mètre cube, et le cube étant de 6 mètres par mètre courant. 48,000 fr.

Sur les rails, la différence étant par quintal métrique de 15 fr., et le poids par mètre courant pour les quatre files de rails étant de 152 kilogrammes. 19,760

Sur les coussinets, la différence étant par quintal métrique de 7 fr., et le poids par mètre courant, de 40 kilogrammes. 2,800

Sur les traverses enfin, la différence étant par mètre cube de 50 fr., et le cube par mètre courant étant de 2/10 de mètre cube. 7,200

EN TOUT. 77,760 fr.

Mais la différence sur le ballast que nous avons indiquée est exceptionnelle; en supposant le ballast au même prix sur les deux chemins, la différence pour la deuxième voie, par mètre courant, n'est plus que de 29,760 fr.

C'est à peu près le chiffre de la différence entre le prix du mètre courant de double voie (voies de garage non comprises) sur le chemin de Strasbourg et sur celui de Metz à Thionville.

La dépense pour le matériel dépend essentiellement de l'importance du trafic. Nous avons déjà fait remarquer qu'elle varie de 20,000 à 60,000 fr., selon le trafic.

Toutefois, pour des chemins établis aux environs d'une capitale, tels que les chemins de Saint-Germain et de Versailles, qui exigent

un matériel exceptionnel pour les jours de fêtes, cette dépense s'élève jusqu'à 120,000 fr. (Saint-Germain), et même 150,000 fr. par kilomètre (Versailles, rive droite).

A égalité de trafic, les frais de matériel à différentes époques ont peu varié. Le prix de revient des machines n'a pas subi de réduction comme celui des rails. Cependant il ne faudrait pas croire que ce prix est à peu près invariable. Les machines que la Compagnie de l'Est payait en 1846 de 45 à 48,000 fr. en coûtent aujourd'hui de 50 à 55,000. Les machines Crampton, payées 52,000 fr., au commencement de 1852, se vendent aujourd'hui 66,000 fr.

De ce qui précède il résulte que si l'on divise, comme l'a fait la loi du 11 juin 1842, la dépense d'établissement des chemins de fer en deux parties :

L'une comprenant les dépenses pour les terrassements, les ouvrages d'art et les stations ;

L'autre la dépense pour la superstructure et le matériel de l'exploitation ;

On reconnaît que la première partie, mise par la loi de 1842 à la charge du gouvernement, est non-seulement plus élevée, mais encore plus variable que la seconde.

Le capital d'établissement des chemins de fer augmente avec le trafic, car il ne serait pas juste de prélever sur les produits de l'exploitation les sommes nécessaires à un accroissement de trafic qui n'avait pas été prévu lors de la rédaction des devis. Le tableau des pages 338 et 339, qui fournit l'indication des dépenses faites au chemin d'Orléans lors de son ouverture, et celle des dépenses faites depuis lors, montre assez sur quels chapitres les augmentations de capital ont lieu et dans quelle proportion avec le trafic. Ainsi l'on voit que la dépense pour travaux d'art et de terrassements reste à peu près invariable, tandis que celle pour acquisitions de terrains, pour la voie et ses accessoires, pour les ateliers et les bâtiments de stations, et celle pour le matériel roulant, ont considérablement augmenté. L'accroissement sur les dépenses des terrains, de la voie ou accessoires de la voie et des bâtiments tient surtout à l'agrandissement forcé des gares. Le surcroît des frais pour le matériel roulant est dû à l'allongement des parcours des convois.

CHEMIN DE FER DE PARIS A ORLÉANS, AVEC

Fonds social, 40 millions; 1^{er} emprunt, 10 millions;
(La section de Paris à Corbeil a été ouverte à l'exploitation

COMPTE DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

NATURE DES DÉPENSES.	PROJET PRIMITIF par M. Defontaine, ingénieur en chef. 1837.	EXÉCUTION PAR M. JULLIEN, ingénieur en chef.	
		État des dépenses faites et de celles restant à faire ¹ . 29 février 1844.	État des dépenses faites, dressé à l'occasion de la fusion de la com- pagnie d'Orléans 30 juin 1852.
Longueur des chemins.	kil. 126,3	kil. 132,7	kil. 132,7
Service des travaux : Personnel; frais d'études, de tracés, et dépenses diverses.	fr. 776 800	fr. 1 110 022	fr. 1 103 342
Acquisitions de terrains, indemnités et frais.	1 500 000	7 175 000 ⁴	8 491 630 ⁵
Terrassements; travaux de consolida- tion; ballastage.	5 234 000	10 436 087 ⁶	10 498 345
Ouvrages d'art.		4 530 227 ⁶	4 553 441
Constructions diverses. {	Maison d'administration à Paris.	283 625	477 054
	Atelier de construction et de ré- paration du matériel, avec leur outillage (à Ivry).	3 056 000	757 209 ⁷	1 518 159
Gares, stations, prises d'eau, plantations, clôtures, etc. . . .			
		4 753 450 ⁸	6 718 144
Matériel d'exploitation.	884 000	5 236 788 ¹¹	7 707 494
Voie en fer. {	Établissement des voies et de leurs accessoires.	10 549 200	14 892 221
	Ensemble des dépenses comprises dans le projet primitif.	22 000 000	47 998 668	55 959 830
Surveillance et entretien de la voie entre Juvisy et Orléans pendant 1844 (3/5 des frais de). . . .		360 750 ¹⁰	401 311
Bâtiments; matériel et voie. — Dépenses de renou- vellement.		"	1 736 757 ¹³
Mobiliers divers.		265 740	444 493
Intérêts des actions et des obligations, déduction faite de diverses recettes.		607 415	302 886
Administration de la Compagnie.		688 561	733 677
Totaux.		49 921 134	59 578 954

Augmentation définitive. . . .

EMBRANCHEMENT DE JUVISY A CORBEIL.

3^e emprunt, 10 millions; capital total, 60 millions.

le 20 septembre 1840; et celle de Juvisy à Orléans le 4 mai 1843.)

ET DE MISE EN EXPLOITATION.

OBSERVATIONS.

AUGMENTATION
DE LA DÉPENSE
de fin février 1844 à fin
juin 1852.

Augmentation
absolue.

Rapport de l'augmen-
tation à la dépense,
fin février 1844,
compte pour 100.

Diminution¹.

1 316 630

18,3

62 258

0,5

23 214

0,5

193 429

68,1

760 950

100,4

1 964 694

41,3

2 370 706

44,4

1 275 961¹⁰

9,3

40 561

11,2

1 736 757¹³

∞

178 753

67,2

Diminution¹⁴.

45 116

6,5

9 969 029

20,0

Diminutions
à retrancher.

311 209

9 657 820¹⁴

19,3

1. Ce projet, distribué aux Chambres, différerait peu de celui qui a été exécuté. L'embranchement de Corbeil était établi sur la rive droite de la Seine; le tracé était rectiligne entre Etampes et Orléans; le point d'origine, à Paris, était place Walhbert. Les inclinaisons du profil en long étaient limitées à 0^m.003, et les courbes n'avaient pas moins de 1000 mètres de rayon. La voie, double partout, devait être posée sur des, avec fondation en béton et encaissement en caill-ux.

2. Dépenses { faites..... 47 519 312 fr. } 49 921 134 fr.
à faire..... 2 401 822

3. Il est probable que la diminution de 6680 fr. dans le service des travaux n'est qu'apparente; elle peut provenir d'une modification dans le classement des dépenses.

4. Valeur de 55 845 hectares, ne comprenant point 80 hectares à revendre, évalués à 575 000 fr.

5. Non compris les propriétés et terrains à revendre, évalués à 309 713 fr.

6. 205 aqueducs, ponceaux, ponts et viaducs, 11 passerelles, 101 passages à niveau. — Les travaux les plus importants sont 4 grands viaducs sur rivières, ayant de 14 à 20 mètres de hauteur et 12 arches ensemble, de 7 à 8 mètres d'ouverture chacune.

7. { Bâtiments..... 510 292 fr. } 757 209 fr.
Outillage..... 246 927

{ Terrassements.. 8 094 050 fr. pour 5 111 072 mètres cubes déblai, abstraction faite des remaniements

8. Trav. de consolidⁿ 175 940 fr. pour 46 300 mètres cubes perrés et murs de soutènement; compte pour façon et transport des matériaux.

Ballastage..... 2 166 097 fr. pour 568 948 mètres cubes.
10 436 087 fr.

9. 2 481 123 fr. pour 21 gares de voyageurs, compris dépendances, accéssoires et sbords

985 115 pour 11 gares de marchandises, faites ou à faire, compris cours et rues d'arrivée, avec l'extension à donner à la gare de Paris.

494 142 pour 6 dépôts de machines et 1 petit atelier de réparations à Orléans.

222 573 pour alimentation des machines; puits artésiens; prises d'eau; grues hydrauliques.

297 072 pour clôture de la ligne en treillage.

223 999 pour plantation de haies vives et ensemencement de talus.

49 426 pour mâts de signaux; puits à Toury et à Orléans; différents menus travaux.

4 753 450 fr.

10. Longueur des voies de garage { fin février 1844. 19 100 m.
fin 1853..... 44 375

Augmentation, 25 275 m., ou 57 p. 100.

11. La ligne et l'embranchement s'exploitant indépendamment l'un de l'autre, il a fallu acquérir autant de matériel que si la ligne avait 133 kil. + 19 kil. tracé commun = 152 kilomètres.

12. Prévisions portées dans le budget pour l'exercice 1844, au compte du premier établissement.

13. Les rails, primitivement de 30 kilog., ont été partiellement remplacés par des rails de 36 kilog. le mètre

14. Le compte des intérêts payés avant 1854 a diminué de 304 529 fr. par diverses recettes réalisées de 1844 à 1852. et venues.

Voir d'autre part le tableau du TRAFIC ANNUEL.

TABLEAU DU TRAFIC ANNUEL

Montrant un accroissement de recette beaucoup plus considérable que celui des frais du premier établissement
Longueur du chemin de fer : 153 kilomètres.

NATURE DES TRANSPORTS et des RECETTES.	VOIES DIVERSES AVANT l'ouverture du chemin de fer, vers 1840.				CHEMIN DE FER D'ORLÉANS ET DE CORBELL Exercice 1844.				EXERCICE 1851.				OBSERVATIONS.
	Nombre.		Poids.		Nombre.		Poids.		Nombre.		Poids.		
		tonnes.		francs.		tonnes.		francs.		tonnes.		francs.	
Voyageurs.	790 000	»	2 136 000	1 373 073	6 852	4 385 366	1 063 145	4 299 228	1 063 145	7 261	4 850 79	1. Document résultant de deux enquêtes con- sultatives, prononcées à des épouques différentes par le Conseil d'administration de la Compagnie, et faites avec le plus grand soin.	
Bagages excellants.	»	»	»	»	»	»	»	12 394	»	»	»	2 Les bateaux à vapeur de Paris à M.-niervau transportent en outre 120 000 voyageurs.	
Chiens.	»	»	»	11 823	4 385	122 362	10 500	594 637	»	22 924	178 981	3. Non compris l'impôt de un dixième payé par les voyageurs sur le prix de leurs places; la diminution de la recette de 1844 à 1851 s'explique par l'ou- verture de la première section du chemin de fer de Paris à Lyon.	
Marchan-à gr. vitesse. dise (à pet. vitesse.	»	200 000	2 624 000	»	127 204	1 429 835	»	361 760	»	338 685	10 475 318		
Milles-postes.	»	»	»	»	»	»	2 190	300 000	»	»	»		
Voitures de poste.	»	»	»	2 312	»	120 852	1 176	75 596	»	»	»		
Chevaux.	»	»	»	1 070	»	13 245	2 117	43 483	»	»	»		
Bestiaux.	»	»	54 000	24 195	»	93 707	367 954	848 098	»	»	»		
Entrepôt des dépêches.	»	»	»	»	»	»	»	20 212	»	»	»		
Locations aux Compa- gnies de Bordeaux et du Centre dans la gare d'Orléans.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»		
Recettes diverses.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»		
Total.		200 000	4 818 000		138 511	6 566 697		10 475 318		368 870	31 914 90		
				A déduire : Frais d'exploitation.									
								Recette nette.					
												88	
												au moins.	

De 1844 à 1851 l'accroissement de la recette brute est de 60 pour 100.
l'accroissement de la recette nette est de 75 pour 100.

Des devis estimatifs des lignes à établir. — La comparaison des devis et de la dépense effective des différents chemins montre assez combien il est difficile de calculer à l'avance les frais d'établissement des chemins de fer. Le tableau suivant fournit les éléments nécessaires pour établir cette comparaison.

TABLEAU COMPARATIF

DU COUT PRÉSUMÉ ET DES DÉPENSES RÉELLES DE CONSTRUCTION DES CHEMINS DE FER
Non compris le matériel pour les chemins belges seulement.

CHEMINS.	DÉSIGNATION DES LIGNES.	Longueur en kilomètres.	DATE de l'ouverture de la ligne en- tière.	DÉPENSE présumée d'après les devis.	DÉPENSE réelle d'après les comptes ren- dus.	DATE de l'arrêt de compte.
CHEMINS BELGES.	Bruzelles à Anvers. . .	48	1836	5 000 000	8 500 000 11 500 000	1839 1852
	Malines à Ostende. . .	123	1839	8 000 000	15 000 000 19 000 000	1840 1852
	Bruzelles à Quiévrain..	84	1842	11 000 000	16 000 000 21 700 000	1842 1852
	Braine-le-Comte à Namur.	81	1843	8 000 000	15 000 000 17 800 000	1845 1852
CHEMINS FRANÇAIS.	St-Germain (le Pecq)..	18	1837	3 900 000	11 000 000 19 500 000	1837 1853
	Versailles (rive droite).	18	1839	11 000 000	16 800 000	1839
	» (rive gauche).	17	1840	10 000 000	17 200 000	1845
	Paris à Orléans et Corbeil.	133	1843	22 000 000	50 000 000 59 500 000	1844 1852
	Paris à Lyon.	507	1854	200 000 000	300 000 000 137 500 000	1854 1839
CHEMINS ANGLAIS.	Londres à Birmingham.	181	1838	66 500 000	149 000 000 64 000 000	1845 1842
	Londres à Brighton. .	74	1841	28 000 000	66 000 000 20 000 000	1845 1830
	Liverpool à Manchester.	50	1830	12 500 000	38 000 000 76 000 000	1845 1842
	Manchester à Leeds. . .	82	1841	32 500 000	78 000 000 17 000 000	1845 1839
	Londres à Grenwich. .	6	1839	10 000 000	25 000 000 160 000 000	1845 1842
	» à Bristol.	190	1841	62 500 000	168 000 000	1845

Nous avons cru qu'il serait utile de donner le chiffre réel de la dépense, non-seulement à une époque récente, lorsque l'accroissement imprévu du trafic nécessite une augmentation de capital, mais encore au moment de l'ouverture ou à une époque rapprochée quand le trafic différerait moins de celui qui avait été supposé au devis.

Le chiffre de la dépense pour les chemins anglais et français a été emprunté aux comptes rendus des Compagnies, celui des chemins belges aux documents publiés par l'État.

L'estimation des dépenses pour l'établissement des railways que nous venons de nommer a été faite, à la vérité, à une époque où l'on ne possédait pas l'expérience acquise aujourd'hui de la construction des chemins de fer.

Il est probable que l'on ne commettra plus désormais les mêmes erreurs, et déjà, pour des lignes récemment construites (chemins de Paris à Strasbourg, de Metz à Thionville et de Bâle à Wissembourg), on s'est à peine écarté du chiffre des devis. Nous croyons toutefois utile de faire connaître quelles en ont été les causes principales en Angleterre, telles qu'elles se trouvent indiquées dans le résumé d'une enquête faite sur les chemins de fer de la Grande-Bretagne. En voici l'énumération :

1° Les difficultés rencontrées par les Compagnies pour obtenir l'acte de concession du Parlement, difficultés provenant surtout de la concurrence élevée de Compagnies formées dans un but unique d'opposition par les propriétaires des terrains. La dépense qu'il a fallu faire pour les lever a, pour certaines lignes, même d'une certaine longueur, atteint le chiffre de 75,000 fr. par kilomètre ;

2° Les prétentions ridicules émises par les propriétaires de terrains : elles ont, dans certains cas, fait monter l'indemnité pour expropriation à 160,000 fr. par kilomètre ;

3° Les folles dépenses faites par certaines Compagnies pour prolonger sans nécessité les chemins de fer dans l'intérieur des villes ;

4° L'importance exagérée attachée à la réduction des pentes par certains ingénieurs, qui n'ont pas établi une juste proportion entre la dépense de construction et les frais d'exploitation ;

5° La rapidité excessive avec laquelle ont été exécutés certains ouvrages auxquels on a travaillé, à grands frais, jour et nuit ;

6° L'incertitude qui règne toujours sur la nature et sur l'importance des grands travaux de terrassement et des grands ouvrages d'art ;

7° Les exigences du public relativement aux bâtiments et aux dépendances des stations ;

8° L'augmentation subite de la main-d'œuvre et des matières premières par suite de la concurrence ;

9° Le défaut d'expérience des ingénieurs et des administrateurs ;

10° Le désir des fondateurs de quelques Compagnies de faire valoir l'affaire et de faciliter le placement des actions en réduisant sur le devis les charges de l'entreprise ;

11° Les changements, quelquefois importants, apportés au projet après en avoir publié l'estimation ;

12° Enfin l'omission dans plusieurs devis des dépenses que nécessite le matériel.

Les paragraphes 2°, 4°, 5°, 6°, 8°, 9°, 10° et 11°, s'appliquent aux chemins français aussi bien qu'aux chemins anglais.

Frais généraux. — Pour mieux se rendre compte, du reste, des difficultés que présente l'appréciation des dépenses de construction d'un chemin de fer dans des terrains accidentés, et pour aider les ingénieurs dans l'établissement de leurs devis, reportons-nous à l'analyse de cette dépense présentée plus haut.

Frais d'études. — Le chiffre des frais d'étude classés sous un premier titre est de sa nature fort incertain.

Les études se composent principalement d'opérations sur le terrain, telles que nivellements, triangulation, sondages, tracés de lignes droites ou de lignes courbes, opérations qui sont plus ou moins multipliées, et qui deviennent plus ou moins longues suivant la configuration du terrain, les difficultés d'espèces différentes que peut présenter la division ou la concentration des propriétés, etc.

Les avant-projets envoyés à l'administration des ponts et chaussées pour accompagner une demande en concession doivent se composer de :

1° Un plan général à l'échelle de 1 à 10,000 ;

2° Un profil en longueur à l'échelle de 1 à 10,000 pour les longueurs, et de 1 à 500 ou à 1,000 pour les hauteurs ;

3° Un cahier de profils en travers de 1 à 200 pour les longueurs et les hauteurs ;

4° Un tableau du calcul des terrassements ;

5° Un tableau des ouvrages d'art avec types de ces ouvrages ;

6° Un détail estimatif du projet ;

7° Un rapport à l'appui.

La dépense pour l'établissement de ces avant-projets est, en général :

- | | | |
|----|------------------------------------|---------------------------|
| 1° | Dans des circonstances difficiles, | de 200 fr. par kilomètre; |
| 2° | — ordinaires, | de 150 — |
| 3° | — faciles, | de 100 — |

Les études pour la rédaction du projet définitif, exigeant plus de soin que celles de l'avant-projet, et comprenant, en outre, les différents plans, profils, tableaux et rapports ci-dessus énoncés, les plans parcellaires à l'échelle de un millième, et lithographiés à cent exemplaires, ainsi que le piquetage de la ligne, le bornage et le creusement des fossés de limites, sont naturellement plus dispendieuses¹.

Celles du chemin de Paris à Mulhouse ont coûté environ 1,400 fr.² par kilomètre. Ce chemin ayant 485 kilomètres de longueur, on a étudié le tracé sur un développement de plus de 1,000 kilomètres. Aux abords de la ville de Provins seulement, on a étudié des tracés dans huit directions différentes sur une longueur de 200 kilomètres.

Les études définitives du chemin de fer de Versailles depuis Asnières ont coûté de 30,000 à 35,000 fr., ce qui porte la dépense de 1,800 à 2,100 fr. par kilomètre.

Celles du chemin de la rive gauche sont revenues à 2,000 fr. environ par kilomètre.

Nos tableaux fournissent le chiffre des frais généraux, *par kilomètre*, pour un grand nombre de lignes construites. L'auteur des documents statistiques observe, du reste, avec raison que, pour se

¹ Voir, pour de plus amples détails, la circulaire du ministre des travaux publics aux préfets, relative à la rédaction des projets et avant-projets, en date du 14 janvier 1850.

² Sur ces 1,400 fr., 1,100 environ ont été dépensés pour les études proprement dites, et 300 fr. pour le levé et dessin des plans parcellaires, les extraits des matrices cadastrales et la confection des plans et des états indicatifs d'expropriation et préparation au bornage, ce dernier chapitre comprenant le tracé sur le plan parcellaire des emprises de terrains à exproprier et calculs des surfaces de ces terrains; copie en triple expédition de la minute de plan parcellaire, la fourniture des plans autographiés, les états parcellaires en double expédition, les états indicatifs des terrains en triple expédition, y compris le carton pour le dossier des enquêtes, le rigolage, piquetage et bornage des terrains à exproprier, et enfin la fourniture en double expédition d'extraits du plan parcellaire et des notes descriptives pour le bornage contradictoire dans les actes de vente.

Nous n'avons pas fait entrer dans ces frais d'étude le levé et les calculs des terrains à exproprier après le rigolage, la dépense pour estimation de terrains, la confection, la reliure et le cartonnage du dossier, et le bornage contradictoire des terrains acquis.

rendre un compte exact des frais généraux, il faut plutôt les comparer aux frais totaux d'établissement qu'aux frais par kilomètre, et il trouve qu'en prenant les chemins construits uniquement par les Compagnies, ils représentent, en général, de 3 à 7 pour 100 de la dépense totale. La proportion de 5 pour 100, ajoute-t-il, paraît pouvoir être adoptée comme expression de la moyenne.

Les intérêts des capitaux pendant la construction, intérêts que l'on comprend souvent dans les frais généraux, devraient cependant être comptés à part, ainsi que la commission payée au banquier.

La dépense en intérêts est subordonnée, pour chaque ligne, au coût d'établissement, à la durée de la construction et au taux de l'intérêt servi. Il serait donc assez difficile de l'apprécier à l'avance; aussi se borne-t-on à dire, dans les documents statistiques, qu'elle est généralement inférieure à 5 pour 100 du capital de premier établissement. Nous ajouterons qu'une Compagnie habile à faire valoir ses fonds peut la réduire aisément à 2 ou 3 pour 100.

La commission de banque, pour plusieurs de nos grandes lignes, a été considérable. Nous ne pensons pas toutefois qu'elle ait généralement dépassé $1/2$ pour 100 du capital versé; $1/4$ pour 100 devrait suffire.

Les frais pour personnel des ingénieurs, conducteurs de travaux, piqueurs, etc., et pour le loyer de leurs bureaux, ainsi que la fourmiture, etc., s'élèvent de 7,000 à 20,000 fr. par kilomètre.

Ils dépassent rarement 10,000 fr.

Terrains. — Une autre nature de dépenses portées au devis, celles pour acquisitions de propriétés et indemnités pour dégâts ou dérangements, est, de toutes, la plus difficile à apprécier d'avance.

Ce n'est pas la valeur réelle des terrains traversés que payent les concessionnaires d'un chemin, mais une valeur de convention établie par un jury sur des bases variables. Comment, par exemple, estimer le montant de l'indemnité que réclame un propriétaire et qu'alloue un jury, pour le tort qui résultera de l'interposition d'un remblai devant les fenêtres d'un château, ou le percement d'une tranchée profonde au milieu d'un grand parc?

Le devis approuvé par le gouvernement pour le chemin de Ver-

sailles, rive gauche, portait à 177,000 fr. le chiffre de l'indemnité à payer pour les terrains de la barrière du Maine à Versailles; la Compagnie a payé pour cet objet 5,016,000 fr.

Pour le chemin d'Orléans, le devis du gouvernement supposait que l'indemnité aux propriétaires ne dépasserait pas la somme de 1,500,000 fr. La Compagnie, pour la seule portion de Paris à Corbeil, a payé au delà de cette somme. L'indemnité pour la ligne entière a été de 8,491,000 fr.

Le jury, qui, aux environs de Paris, estimait les terrains pour le chemin de Mulhouse à un prix qui ne dépassait pas beaucoup la valeur vénale, le taxait en Alsace jusqu'à neuf fois cette valeur.

Le tableau suivant, emprunté aux documents statistiques, indique en même temps, pour un certain nombre de chemins français placés dans des conditions moyennes, la superficie des terrains occupés, le prix de revient de ces terrains et le prix moyen de l'hectare.

DÉSIGNATION DES LIGNES OU SECTIONS DE LIGNES.	LONGUEUR.	SUPERFICIE DES TERRAINS OCCUPÉS.		PRIX DE REVIENT DES TERRAINS.		PRIX MOYEN DE L'HECTARE.
		Total.	par kilomètre.	Total.	par kilomètre.	
Andrezieux à Roanne.. . . .	67	120	1,79	1,225,947	18,298	10,232
Card.. . . .	89	287	3,22	1,751,097	19,709	6,121
Montpellier à Nîmes.. . . .	52	167	3,21	1,750,755	33,068	10,488
Orléans à Bordeaux.. . . .	461	1,615	3,51	12,069,535	26,181	7,459
Creil à Saint-Quentin.. . . .	102	389	5,81	4,044,975	59,657	10,409
Amiens à Boulogne.. . . .	123	467	3,41	5,089,515	41,578	12,154
Centre.. . . .	320	745	2,52	6,775,743	21,174	9,427
Dieppe et Fécamp.. . . .	51	198	5,90	1,815,378	35,536	9,117
Montereau à Troyes.. . . .	100	370	3,70	2,061,753	26,617	7,194
Tours à Nantes.. . . .	194	751	3,75	8,698,788	41,609	11,836
Lille à Dunkerque.. . . .	145	546	3,76	5,854,844	40,241	10,702
Frouard à Saarbruck.. . . .	122	552	4,56	4,585,794	35,933	8,242
Asnières à Argenteuil.. . . .	4	41	2,75	110,177	27,544	10,016
Totaux et moyennes.. . . .	1850	6,176	3,57	56,215,250	30,718	9,102

La dépense pour les terrassements dépend de la nature des terres à enlever et de la distance à laquelle on est obligé de les transporter.

Les frais de transport, en tant que l'on emploie les moyens usités,

sont faciles à calculer d'avance¹. Il n'en est pas de même de la fouille du terrain.

Lorsqu'il s'agit d'ouvrir des tranchées profondes, on commence toujours par reconnaître le terrain au moyen d'un certain nombre de puits plus ou moins profonds ouverts dans l'axe de la tranchée. Mais, d'un côté, en multipliant ces puits au delà de certaines limites, on augmente considérablement la dépense, et, de l'autre, pour peu qu'ils soient éloignés les uns des autres, ils ne fournissent sur la nature du terrain que des indices fort peu certains.

Vient-on à rencontrer des terrains ébouleux et remplis d'eau, l'exploitation en est tellement difficile, les accidents auxquels on se trouve exposé dans ce genre de travail sont si fréquents, qu'il est à peu près impossible, même pour les hommes les plus expérimentés, d'établir le chiffre de la dépense.

Sur les chemins de Croydon, North-Eastern, Londres à Birmingham, Paris à Strasbourg, Paris à Lyon, Versailles, rive gauche, et beaucoup d'autres, on n'a pu dessécher les parois de certaines tranchées qu'au moyen de travaux fort dispendieux d'établissement et d'entretien.

Les travaux dans les terrains tourbeux n'offrent pas moins d'incertitude, quant au montant des frais de percement, que ceux entrepris dans des terrains ébouleux et aquifères.

M. Julien, ancien ingénieur en chef du chemin d'Orléans, combattant le tracé du gouvernement, a déclaré qu'il lui était impossible d'apprécier d'avance l'étendue de la dépense à faire pour traverser la vallée tourbeuse de la Juine, que suivait ce tracé.

Sur les chemins de Liverpool à Manchester et de Glasgow à Garnkirck, on a dépensé des sommes énormes pour traverser de profonds marais. La dépense a de beaucoup dépassé les prévisions des ingénieurs.

Lorsqu'il s'agit de percements au lieu de tranchées, l'appréciation des dépenses est, on le conçoit, plus incertaine encore.

Travaux d'art. — L'estimation de la dépense pour les ouvrages en maçonnerie n'est également pas sans difficultés. C'est surtout

¹ Voir plus loin le tableau dressé par M. Brabant.

dans le calcul de celle des fondations que l'on est sujet à commettre de grandes erreurs.

Les travaux de construction des grandes lignes de chemins de fer devant être poussés avec plus d'activité que les travaux ordinaires et s'exécutant sur une plus grande échelle, il en résulte un renchérissement dans les prix de main-d'œuvre. Aussi est-on dans l'usage d'accorder aux entrepreneurs un supplément aux prix ordinaires. Ce supplément s'est élevé sur plusieurs lignes de 10 à 20 pour 100.

Pour les travaux souterrains et pour la construction des grands viaducs, on porte aussi un prix plus élevé que pour les travaux ordinaires.

Nos tableaux fournissent l'indication des dépenses pour terrassements et ouvrages d'art dans la plupart de nos chemins de fer. Celles d'un certain nombre de ces chemins placés dans des conditions moyennes se trouvent résumées dans le tableau suivant, emprunté aux documents statistiques.

DÉSIGNATION DES LIGNES OU SECTIONS DE LIGNES.	LONGUEURS.	DÉPENSES EN TERRASSEMENTS.		DÉPENSES EN OUVRAGES D'ART COURANTS		DÉPENSES EN TERRASSEMENTS ET OUVRAGES D'ART COURANTS.	
		Totales.	par kilom.	Totales.	par kilom.	Totales.	par kilom.
		fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Amiens à Boulogne. . .	125	5 473 839	44,505	2 072 212	17,009	7 566 051	61,512
Paris à Strasbourg { 2 ^e sect.	152	6 477 859	42 618	2,675,217	17,600	9 155 167	60,218
Paris à Strasbourg { 3 ^e sect.	105	4 978 513	47 412	1,352 622	12 691	6,510,935	40,105
Paris à Strasbourg { 4 ^e sect.	141	9 614,063	68 164	2,950 688	20,849	12,550,751	89,013
Paris à Strasbourg { 5 ^e sect.	52	1 824,298	35 082	941 045	18,077	2,765 543	53 178
Centre.	520	23,603,387	75 761	9,241,848	28,881	32,845 235	102 642
Orléans à Bordeaux. . . .	461	31,681 107	68 729	9,678 251	20,994	41,362,358	89,725
Tours à Nantes.	195	20,7 7 106	106,601	5,124 810	26,281	25 911 940	132,882
Totaux et moyennes. . .	1 549	104,440,065	67,424	31,025,725	21,966	138,465,786	89,590

* L'importance des terrassements et des travaux de consolidation effectués sur cette section explique suffisamment l'élevation de ces dépenses.

Ce tableau fait ressortir la dépense moyenne par kilomètre :

Pour les terrassements, à 67,424 fr., variant de 35,082 fr., 5^e section de la ligne de Paris à Strasbourg, à 106,601 fr., ligne de Tours à Nantes ;

Pour les ouvrages d'art courants, à 21,966 fr., variant de 12,691 fr., 3^e section de la ligne de Paris à Strasbourg, à 28,881 fr., ligne du Centre;

Pour les terrassements et les ouvrages d'art courants, à 89,590 fr., variant de 40,105 fr., 3^e section de la ligne de Paris à Strasbourg, à 152,882 fr., ligne de Tours à Nantes.

Il donne encore lieu de remarquer que la part des terrassements, dans la dépense totale pour terrassements et ouvrages d'art, est de 75 pour 100 en moyenne. Cette proportion semble augmenter ou diminuer, suivant que la dépense augmente elle-même ou diminue; ainsi elle est de :

68 p. 0/0 sur une dépense totale de	40,105 fr. à 55,179 fr. par kilomètre.	
70 à 72 p. 0/0	—	60,218 fr. à 61,512 fr. —
76 p. 0/0	—	89,015 fr. à 89,725 fr. —
81 p. 0/0	—	152,882 fr. à fr. —

Sur la ligne du Centre, dont la dépense par kilomètre est de 102,642 fr., la proportion des terrassements n'est, par exception, que de 75 pour 100.

Les dépenses moyennes indiquées au tableau ci-contre s'appliquent à des lignes ou sections de lignes à deux voies; pour obtenir la moyenne applicable aux sections à une voie, les ouvrages d'art étant exécutés pour deux voies, il conviendrait de diminuer d'environ $\frac{1}{5}$ la dépense des terrassements, ce qui porterait la moyenne à 75,905 fr., dont 53,959 en terrassements.

Le prix des ouvrages d'art exceptionnels est très-variable. Le grand pont de Nogent-sur-Marne et les viaducs entre lesquels il se trouve compris, dont la longueur, jointe à celle du pont, est d'environ 800 mètres, ont coûté 5,500,000 fr.

Le viaduc de la Voulzie, près de Provins, long de 486 mètres et haut de 17, avec fondations dans la tourbe à 15 mètres de profondeur, 2,200,000 fr.

Le grand viaduc de Chaumont, dont la longueur est de 600 mètres, et la hauteur maxima de 55 mètres, exécuté en moins d'une année avec une excessive rapidité, 5,600,000 fr.

Le viaduc de l'Indre (ligne de Tours à Bordeaux), long de 751 mètres et haut de 22 mètres, a coûté plus de 2,000,000 fr.

Le grand pont sur la Durance (ligne de Marseille à Avignon), long de 555 mètres, 5,000,000 fr.

Le grand pont sur le Rhône, long de 386 mètres, 6,000,000 fr.

Nous avons rassemblé, dans les documents joints à cet ouvrage, un certain nombre de données numériques qui aideront dans l'établissement des devis.

Il résulte de ces renseignements :

1° Que les viaducs de 15 à 20 mètres de hauteur coûtent ordinairement de 100 à 150 fr. le mètre superficiel, fondation non comprise, et les viaducs très-élevés, de 150 à 250 fr.

La dépense pour les fondations peut, dans certains cas, augmenter très-sensiblement le prix de revient. A la Voulzie, près Provins, sur le chemin de Mulhouse, les fondations étant très-profondes et ayant présenté de grandes difficultés en exécution, le mètre superficiel, en ne tenant compte que de la dépense des maçonneries au-dessus du sol, a coûté 125 fr., et, en ayant égard à la dépense faite pour les fondations, 220.

2° Que des souterrains, pris dans les conditions les plus favorables des chemins bavares pour les chemins à une voie, ont coûté de 250 à 500 fr. le mètre courant.

3° Que des souterrains beaucoup plus longs, dans de bons terrains pour le passage des chemins à deux voies, ont coûté de 500 à 1,000 fr. le mètre courant.

4° Que des souterrains, longs de 500 à 5,000 mètres, pour le passage à deux voies dans des terrains médiocrement difficiles, ont coûté de 1,000 à 1,500 fr.

5° Que des souterrains ouverts pour le passage à deux voies dans les conditions les plus difficiles (Blaisy, Chézy) ont coûté 2,500 à 2,450 fr.

Clôtures et maisons de gardes. — Les clôtures du chemin se composent de poteaux de 1^m,40 de hauteur, espacés de 1^m,50, et réunis par trois lisses pour les parties les moins habitées, et de treillages en échelas pour celles où la population est plus dense. On compte pour les clôtures à trois lisses 45 centimes par mètre courant, et 75 centimes par mètre courant de clôture en échelas (marchés faits en 1854 pour le chemin de Paris à Mulhouse).

Soit le double par mètre courant de chemin.

La dépense pour les haies vives est de 80 centimes, y compris l'entretien pendant dix ans.

Les maisons de gardes coûtent en moyenne 3,500 fr. l'une. L'auteur des documents statistiques en compte 0,64 par kilomètre moyen, ce qui représente une dépense de 2,240 fr.

Aujourd'hui, en 1860, la Compagnie de l'Est vient de traiter pour un certain nombre de maisons de gardes à établir sur le chemin de Bâle à Strasbourg, et elle n'a pu en réduire le prix au-dessous de 4,500 francs.

Les passages à niveau coûtent 1,700 fr. l'un, et on en compte en moyenne 3,68 par kilomètre.

Peu de Compagnies, continue le même auteur, ont isolé les dépenses d'établissement affectées à la pose du télégraphe électrique ; mais ces dépenses sont de nature à être appréciées avec assez de certitude, à raison du peu de variations qu'elles subissent.

L'on sait, en effet, qu'un appareil de poste double coûte, accessoires et installation compris, 720 fr. environ ; que l'acquisition, la préparation et la pose des poteaux coûte moyennement 150 fr. par kilomètre ; qu'enfin l'acquisition, la préparation et la pose du fil et de ses accessoires, tels que godets, tendeurs, etc., coûtent moyennement 100 fr. par kilomètre¹.

L'on sait, d'autre part, qu'en général les Compagnies sont autorisées à poser leurs fils sur les poteaux établis par le gouvernement pour son propre réseau ; que leurs appareils sont pour la plupart à poste double.

Bâtiments des stations. — Les dépenses à faire pour les bâtiments d'exploitation comprennent celles pour les bâtiments de salles d'attente, remises de locomotives et de wagons, les ateliers, les maisons de gardes, etc. Elles peuvent être calculées d'avance avec assez d'exactitude.

La forme et les dimensions de ces bâtiments une fois données, on en établit aisément le devis.

Nous avons réuni, sous forme de documents, des renseignements

¹ Voir aux documents les détails des prix de revient d'un kilomètre du télégraphe électrique.

intéressants sur les prix payés pour la construction de ces bâtiments en France dans différentes circonstances. Les stations extrêmes des grandes lignes sont revenues généralement à des prix fort élevés.

D'après M. Petit de Coupvray (*Annuaire des chemins de fer, 1852-1855*), les stations et les gares en Angleterre sont en général d'un genre plus simple que celles que nous construisons en France. On ne pourrait guère citer en Angleterre que cinq ou six de ces édifices sortant de la ligne ordinaire.

La station du grand chemin du London and North-Western à Londres, construite dans ces derniers temps par M. William Cubitt et C^{ie}, sur les plans de M. Philippe Hardwick, est l'édifice le plus monumental de ce genre. Sa dépense s'est élevée à 5,750,000 fr., non compris le terrain, qui appartenait à la Compagnie, et les voies et annexes, qui existaient déjà.

A Londres, à l'exception du terminus d'Euston et de celui du Great-Northern, les bâtiments des gares sont moins importants que ceux de nos grandes lignes à Paris. Dans les provinces, la dépense des bâtiments des stations représente quelquefois cependant un chiffre assez élevé. On peut citer comme dispendieuses les stations de :

Peterborough, qui a coûté.	. . .	2,250,000 fr.
Chester,	—	1,150,000
Cambridge,	—	2,000,000
Ely,	—	5,500,000
Stoke,	—	1,000,000

Enfin voici quel a été, pour plusieurs chemins d'une importance secondaire non portés dans notre tableau, le montant de ce chiffre de dépense :

LIGNES.	DISTANCES MOYENNES entre les stations en kilomètres.	DÉPENSE par kilomètre.
Lancaster à Carlisle.	9	24,000 fr.
Chester.	9	26,000 »
Trent Valley.	8	26,000 »
Northampton à Peterbourg..	8	20,000 »
North Midland.	8	30,000 »
North Staffordshire.	6	20,000 »

Les différents prix indiqués ci-dessus ne comprennent pas la valeur des terrains sur lesquels ont été placés les bâtiments.

En France, les bâtiments pour voyageurs ont coûté, pour des gares exceptionnelles, telles que :

La gare terminale du chemin de Strasbourg à

Paris, avec le grand comble, environ.	5,550,000 fr.
Gare terminale du chemin de Lyon à Paris.	2,500,000
Gare de Strasbourg.	800,000
— de Nancy, comble compris.	600,000
— de Metz, comble compris.	410,000
— d'Épernay, avec halle et grand buffet.	450,000

Les bâtiments de voyageurs, pour les stations intermédiaires de 1^{re} classe, couvrant un espace d'environ 400 mètres carrés, ont coûté, dans le voisinage de Paris, de. 80,000 à 90,000 fr.

Pour les stations intermédiaires de 2^e classe couvrant

un espace de 270 mètres carrés.	50,000
De 5 ^e classe, 230 —	40,000
De 4 ^e — 200 —	35,000
De 5 ^e — 140 —	25,000
De 6 ^e — 100 —	18,000

Nous n'avons compris dans cette dépense ni celle pour bâtiments affectés au service des marchandises, ni la dépense pour marquises couvrant les trottoirs ou pour abri.

L'auteur des documents statistiques compte, pour la dépense des bâtiments des stations de 1^{re} classe correspondant à nos stations hors ligne, 400,000 fr. en moyenne; pour celle des bâtiments des stations de 2^e classe correspondant à nos stations de 1^{re} classe, 100,000 fr., et pour celle des bâtiments des stations de 5^e classe correspondant à nos stations de même classe, 40,000 fr.

La dépense par kilomètre pour ces bâtiments, sur un chemin comme celui de Mulhouse, où les stations sont assez éloignées, où celles d'une grande importance sont rares, et où il n'y a pas de stations terminales proprement dites, varie de 12,000 à 14,000 fr. Sur des chemins comme ceux de Strasbourg et du Nord, où les stations sont plus rapprochées, plus grandes, et où l'on trouve de magnifiques stations terminales, elle atteint le chiffre de 32,000 fr.

Les bâtiments de grands ateliers, comme ceux établis à Épernay, y compris deux rotondes, bâtiments couvrant une surface de 20,500 mètres, coûtent 850,000 fr.

L'erreur que l'on commet souvent dans les devis des gares d'un chemin de fer provient de ce que l'on se méprend sur les dimensions qu'il convient de leur donner. Nous avons traité la question au chapitre du tracé et à celui des stations, et fourni des renseignements qui permettent de déterminer l'étendue totale de la gare et celle des différents bâtiments.

Ateliers. — La dépense faite pour l'outillage actuellement existant des grands ateliers d'Épernay s'élève à 506,650 fr. (1^{er} janvier 1861), et se subdivise de la manière suivante :

Atelier d'ajustage.	550,000 fr.
— des bandages de roues et forges.	75,000 »
— des ressorts et de la chaudronnerie.	35,000 »
— de montage.	46,650 »

Le chiffre de 506,650 fr. ne comprend que l'acquisition des outils; il faut ajouter environ 16 pour 100 pour l'installation comprenant les transmissions de mouvement, les fondations et la pose des machines-outils.

Les voies de fer et grandes plaques tournantes ne sont également pas comprises dans cette dépense.

L'outillage actuellement existant des ateliers de Montigny, plus spécialement consacrés à la réparation des wagons, a coûté environ 255,000 fr., se divisant de la manière suivante :

Outillage de l'atelier d'ajustage.	150,000 fr.
— des forges et montages.	45,000 »
— des wagons.	60,000 »

Il faut ajouter 16 pour 100 pour l'installation.

L'outillage des ateliers de la Vilette, affectés à la carrosserie, a coûté, abstraction faite des frais d'installation, environ 160,000 fr.

En résumé, la dépense d'outillage des ateliers d'Épernay serait

de.	506,650 fr.
De Montigny, de.	255,000
De la Vilette, de.	160,000

TOTAL POUR LES TROIS ATELIERS.	901,650 fr.
---	--------------------

	REPORT.	901,650 fr.
Ajoutant 16 pour 100 pour frais d'installation, etc.		144,350
	TOTAL DÉFINITIF.	1,046,000 fr.

soit en nombres ronds : 1,000,000 fr. ¹.

D'après les documents statistiques :

Les dépenses pour mobilier, qui comprennent le mobilier des gares et stations et l'outillage des ateliers, subissent l'influence de l'importance même des stations et ateliers. Il convient donc, pour rapprocher des chiffres comparables, de s'attacher, comme pour l'article précédent, à des lignes dépourvues de gares hors classes.

En opérant de même sur un ensemble de lignes ou sections de lignes comprenant plus de 2,000 kilomètres, on arrive à une moyenne de prix de revient par kilomètre de 2,540 fr., comprise généralement entre 1,500 fr. et 3,800 fr. Nous adopterons les moyennes approximatives de 2,700 fr. pour les lignes à deux voies, et 2,400 fr. pour les lignes à une voie.

Les chiffres constatés sur quatre lignes, comprenant ensemble plus de 1,000 kilomètres, font en outre ressortir la proportion des dépenses pour mobiliers des gares et stations à 35 pour 100 en moyenne; elle est respectivement de 30, 36, 37 et 46 pour 100 pour les lignes de Frouard à Saarbruck, du Centre, d'Orléans à Bordeaux et de Tours à Nantes.

Établissement de la voie. — Quant aux frais d'établissement de la voie, ils sont faciles à calculer : un tableau qui se trouve aux documents contient les détails du prix de revient d'un mètre courant de voie simple sur les chemins de Paris à Strasbourg, de Frouard à Forbach, Metz à Thionville, Strasbourg à Wissembourg et Paris à Orléans.

Ces prix comprennent le ballast employé pour le relèvement des voies pendant les deux premières années d'exploitation. M. Jullien, pour tenir compte de ce supplément de dépense, compte 5 mètres cubes de ballast par mètre courant de simple voie au lieu de 2^m,50.

¹ Voir les documents pour le détail de l'outillage.

Il ne faut pas oublier, lorsqu'on calcule les frais de construction d'un chemin de fer, d'ajouter à la longueur des voies principales celle des voies auxiliaires posées dans les gares, et de tenir compte du prix d'achat et de pose des changements de voies, plaques tournantes et chariots de service.

La longueur développée des voies dans les gares est très-variable. On trouve, dans le tableau analytique des frais de construction de nos grands chemins de fer et des chemins allemands, cette longueur pour ces différents chemins.

Sur le chemin d'Orléans, elle n'était, dans l'origine, que d'environ 11 pour 100 de la longueur des voies principales. C'est le développement du trafic qui a conduit à l'augmenter de telle façon, qu'elle est aujourd'hui, d'après notre tableau, au chemin d'Orléans, de 55 pour 100.

Au chemin de Strasbourg, on ne supposait pas, lorsqu'on fit le devis, qu'elle dût dépasser 10 pour 100 de la section de Paris à Nancy, et 5 pour 100 pour la section de Nancy à Strasbourg; mais on considérait alors une recette de 16,000,000 fr. pour la ligne entière comme un maximum, et cette recette a dépassé, en 1856, 57 1/2 millions.

Dans la seule gare de marchandises de la Villette, la longueur des voies accessoires posées pour le service des marchandises est (y compris les voies de garage qui s'étendent jusqu'à la gare de Paris) de 12,000 mètres; pour celui des ateliers de réparation des voitures, de 4,000 mètres, et de 1,400 mètres pour les remises de locomotives.

Dans la gare d'Épernay, la longueur des voies accessoires posées pour le service de l'exploitation est de 1,500 mètres; elle est de 3,750 mètres environ pour le service des ateliers.

Dans la gare de Nancy, la longueur des voies accessoires est de 3,851 mètres, mais elle est insuffisante.

Dans la gare des voyageurs de Paris, elle est de 2,000 mètres; dans celle de Strasbourg, qui contient aussi des halles pour le service des marchandises, de 6,882 mètres; dans celle de Metz, de 4,600 mètres.

On diminue la dépense des voies de remisage en se servant pour

ces voies, dans les remises de wagons, de rails du poids de 15 à 20 kilogrammes au lieu de ceux de 57 kilogrammes employés pour les voies principales.

Accessoires de la voie. — On trouvera aux documents le prix des changements de voie et croisements en place.

Les dépenses consacrées aux accessoires de la voie sont, d'après les documents statistiques, généralement comprises entre 5,000 fr. et 7,000 fr. par kilomètre sur les lignes à double voie; la moyenne qui résulte d'un grand nombre de documents est, en France, de 5,700 fr., nombre rond.

Cette dépense de 5,700 fr. se divise comme suit : plaques tournantes, 57 pour 100, variant de 52 à 68 pour 100; changements de voie, 29 pour 100, variant de 20 à 57 pour 100; signaux fixes et outillage de la voie, 14 pour 100, variant de 5 à 16 pour 100.

Ces chiffres ou proportions diffèrent peu de ceux qui résultent de l'étude de notre tableau, page 528. On remarque seulement que, dans la section de Paris à Meaux du chemin de Paris à Strasbourg, ils ont été considérablement dépassés, surtout en ce qui concerne la dépense en plaques tournantes, qui s'élève à 11,480 fr.

Cela tient à ce que dans cette section se trouve comprise la gare de la Villéte, dont l'établissement a exigé un nombre énorme de plaques. La dépense faite pour les accessoires de la voie, dans cette section, ne doit donc pas figurer comme élément dans la comparaison générale des frais d'établissement d'un chemin à deux voies. C'est une dépense tout à fait exceptionnelle.

Pour un chemin à une voie, la proportion de la dépense en accessoires à celle de la voie serait, suivant l'auteur des documents, de 5 pour 100, soit, moyennement, de 5,150 fr. par kilomètre.

Si le chemin est à une seule voie, on achète le terrain, on construit les ouvrages d'art et on ouvre les tranchées pour les deux voies; mais on ne construit les remblais établis par voie d'emprunt que pour une seule.

Le prix de la voie simple par mètre s'établit comme il est indiqué aux documents, en comptant toutefois 1/2 mètre cube de ballast en plus; la longueur des voies d'évitement est ordinairement d'un cinquième à un quart de la longueur totale du chemin.

Lorsque le tracé du chemin est très-sinueux et présente un grand nombre de courbes en tranchées et des souterrains, un cinquième ou un quart de double voie ne suffirait pas. Il faut poser la double voie dans toutes les parties de la ligne où les convois ne peuvent être aperçus d'une grande distance.

Les frais d'alimentation des machines sont variables. Le tableau, page 527, en donne le chiffre. Les conditions topographiques et géologiques dans lesquelles le chemin se trouve établi, dit l'auteur des documents, ont une notable influence sur cette nature de dépenses. Elle est considérable sur la ligne de Paris à Lyon, dont la voie se trouve généralement placée à une grande élévation au-dessus des eaux et exige des machines à vapeur fixes sur beaucoup de points, tandis qu'elle s'abaisse pour la ligne du Nord, par exemple, qui se trouve établie à une faible élévation au-dessus des eaux.

Pour énoncer un chiffre, l'on peut admettre qu'une somme de 1,000 fr. par kilomètre serait suffisante pour faire face aux dépenses résultant de ce chiffre sur une ligne établie dans des conditions moyennes.

Matériel roulant. — Le matériel d'exécution pour les terrassements ou les ouvrages d'art des chemins de fer, à l'exception des rails prêtés ou loués par la Compagnie, doit être, en général, fourni par les entrepreneurs, comme il l'a été au chemin de Strasbourg.

Mais, si l'on construisait des chemins de fer dans un pays où l'on ne trouverait pas d'entrepreneur outillé convenablement pour des travaux de ce genre, il ne faudrait pas oublier de porter au devis une certaine somme pour fourniture du matériel d'exécution.

La dépense pour le matériel d'exploitation des chemins est encore de la nature de celles que l'on peut aisément apprécier d'avance : on sait ce que peuvent coûter une diligence, un wagon de marchandises, une locomotive. Les documents fourniront l'indication de ces différents prix.

Quant au nombre de locomotives ou de wagons réclamés par le service du chemin, on peut s'en rendre compte sans trop de difficulté.

Locomotives. — On connaît en effet à peu près *a priori*, d'après l'importance présumée du chemin, le nombre de convois réguliers

de voyageurs et de marchandises qui devront circuler annuellement sur la ligne, et la distance qu'ils doivent parcourir. Y joignant celui des convois supplémentaires, ainsi que celui des convois conduits par deux ou trois machines, que l'on prévoit pouvoir être réclamés quelquefois par l'exploitation, et doublant ou triplant ce dernier, on aura le *nombre total* de *convois simples* circulant chaque année. Multipliant ce nombre par la distance totale à franchir par les convois, on aura le nombre total de kilomètres que devront parcourir annuellement toutes les machines ensemble.

Si donc on connaissait le nombre de kilomètres que peut parcourir annuellement chacune d'elles, on obtiendrait le nombre de machines nécessaires en divisant la première donnée par la seconde.

Or celle-ci peut se déduire facilement de la comparaison des divers chemins établis, connaissant pour chacun d'eux le nombre de locomotives, le parcours kilométrique de toutes ces machines ensemble, et en déduisant par division celui de chacune d'elles.

Malheureusement les comptes rendus des Compagnies ne fournissent pas toujours ce renseignement, ou ils ne renferment que des données incomplètes sur le parcours des machines. Nous avons suppléé à cette insuffisance des comptes rendus en nous adressant directement aux ingénieurs de nos principales lignes en exploitation, et nous avons dressé le tableau suivant avec les informations que nous nous sommes procurées auprès d'eux.

PARCOURS DES MACHINES LOCOMOTIVES

Y COMPRIS LE PARCOURS DES RÉSERVES A VIDE ET LE MOUVEMENT DES GARES.

NATURE DES MACHINES.	NORD.	EST.	ORLÉANS.	OUEST.
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
Machines express.	36,832	35,347	43,521	} 24,133
— à voyageurs et mixtes.	24,502	26,217	24,068	
— à marchandises.	24,722	25,386	25,975		28,980

Les machines Crampton ne sont employées que sur les chemins du Nord, de l'Est et de Lyon. Sur les chemins d'Orléans et de l'Ouest, le service des trains express est fait par des machines d'un modèle spécial que nous décrirons plus loin (chapitre des machines).

En étudiant le tableau ci-dessus, on remarque que le parcours des machines qui remorquent les trains express dépasse de beaucoup celui des autres machines, et que le parcours des machines à marchandises est sur trois grandes lignes le même à peu près que celui des machines à voyageurs ordinaires et mixtes. Sur le chemin de l'Ouest il est d'environ un cinquième plus grand.

Le parcours des machines Crampton des réseaux du Nord et de l'Est n'a pas dépassé, en 1860, 37,000 kilomètres. Dans notre dernière édition nous indiquions, pour l'année 1853, des parcours qui atteignaient, pour le Nord, 52,000 kilomètres, et, pour l'Est, 49,000. La différence entre les parcours, en 1853 et en 1860, tient probablement à ce qu'en 1860 une partie des machines, déjà usées, n'étaient pas capables d'un travail aussi grand, et aussi à ce que les Compagnies, ayant augmenté leur matériel, ont pu le soumettre à une moins grande fatigue.

Nous n'avons pu nous procurer des données suffisamment détaillées sur le parcours des machines à vide, dans les gares ou avec les trains de ballast, que pour les chemins du Nord et de l'Est. Les tableaux suivants résument ces données.

PARCOURS DES MACHINES DU CHEMIN DE FER DU NORD
PENDANT L'ANNÉE 1900.

NATURE des MACHINES.	NOMBRE de MACHINES.	PARCOURS POUR LE SERVICE						TOTAL.	MOYENNE par MACHINE.
		DES VOYAGEURS.	DES MARCHANDISES.	DU BALLAST.	DES MACHINES SEULES.	DES MOUVEMENTS de GARE.			
Machines Crampton.	62	kilom. 2,248,205	kilom. 1,841	kilom. 740	kilom. 5,655	kilom. 20,154	kilom. 2,287,595	kilom. 56,852	
Machines à voyageurs et mixtes..	161	5,488,470	161,140	84,655	28,769	174,096	5,945,110	24,505	
Machines à marchandises (En- gerth comprises).	215	72,105	4,088,411	421,544	59,550	644,285	5,265,895	24,792	
Machines de gare.	20	»	2,842	50,474	428	211,104	244,848	12,242	
TOTAUX.	456	5,808,780	4,262,254	577,595	72,400	1,058,650	11,759,446	25,744	

PARCOURS DES MACHINES DU CHEMIN DE FER DE L'EST

PENDANT L'ANNÉE 1860.

NATURE des MACHINES.	NOMBRE de MACHINES.	PARCOURS POUR LE SERVICE						TOTAL.	MOYENNE par MACHINE.
		DES VOYAGEURS.	DES MARCHANDISES.	DE BALLAST.	DES MACHINES SEULES.	DES MOUVEMENTS de GARE.			
Machines Crampton.	27	kilom. 959,415	kilom. »	kilom. »	kilom. 15,609	kilom. »	kilom. 955,022	kilom. 55,571	
Machines à voyageurs et mixtes.	296	6,428,798	597,531	55,959	425,802	548,055	7,611,945	25,716	
Machines à marchandises (En- gerth comprises).	241	204,068	5,521,915	120,807	195,685	»	5,950,475	24,607	
Machines de gare.	25	»	2,800	21,271	1,606	452,805	478,482	19,159	
TOTAUX.	589	7,642,279	5,722,044	170,037	654,702	800,858	14,975,920	25,436	

Des données précédentes il résulte :

1° Que le parcours des machines de réserve à vide a été :

Pour les Crampton, sur le Nord, environ les 0,0016 de celui des machines attelées; sur l'Est, de 0,0160.

2° Que le même parcours pour les machines à voyageurs ordinaires et mixtes a été :

Sur le Nord, les 0,0080 de celui des machines attelées, et sur l'Est les 0,0620.

3° Que le même parcours pour les machines à marchandises a été :

Sur le Nord, les 0,0085 de celui des machines attelées, et sur l'Est, les 0,0344.

4° Que le parcours pour le service des gares a été, pour les Crampton, les 0,0130 de celui des machines attelées, tandis que sur l'Est il a été nul.

5° Que le parcours pour le service des gares a été, pour les machines à voyageurs ou mixtes, sur le Nord, les 0,0480 de celui des machines attelées, et sur l'Est, les 0,0500.

6° Que le parcours des machines à marchandises pour le service des gares, nul sur le chemin de l'Est, a été, sur le Nord, les 0,0140 de celui des machines attelées.

7° Que sur les deux chemins le service des gares est fait plus spécialement par des machines particulières dont le nombre s'élève à vingt sur le Nord et à vingt-cinq sur l'Est.

Si le parcours des machines Crampton à vide est deux fois plus élevé à l'Est qu'au Nord, cela tient à ce que ce parcours comprend, outre le parcours de machines qui rentrent dans leur dépôt après avoir fait des trains spéciaux qui n'ont pas de retour, celui des machines renvoyées des ateliers dans les dépôts après réparations. Cela tient encore à ce que, pendant l'année 1860, le transfèrement des machines Crampton du dépôt d'Épernay, où elles ne doivent plus séjourner, au dépôt de la Villette a nécessité un mouvement haut le pied de plusieurs machines.

Le parcours des autres machines à vide sur le chemin de fer de l'Est, sans être relativement aussi grand que celui des machines Crampton, est cependant considérable.

Il s'explique de la manière suivante :

Le service des marchandises, qui est plus considérable sur la ligne de l'Est dans un sens que dans l'autre, exige de nombreux trains supplémentaires ou en double traction. Il y a même des trains réguliers qui ont lieu deux ou trois fois par semaine de Strasbourg sur Paris, sans retour. Or les trains réguliers suffisent largement pour le transport des marchandises et des wagons vides à la remonte. Une machine est donc obligée de revenir seule à son dépôt toutes les fois qu'elle a fait un train supplémentaire.

En hiver, les machines des trains supplémentaires partant de la seule gare de Nancy vers Paris s'élèvent quelquefois à quatre par jour; à Forbach, il est souvent de trois par jour; c'est autant de machines qui retournent à vide.

Ces parcours à vide comprennent en outre l'envoi des machines en réparation dans les ateliers ou dépôts, et leur retour à leur dépôt; ces mouvements sont assez fréquents, parce que, indépendamment des réparations exécutées dans les ateliers, la Compagnie de l'Est a concentré dans quelques dépôts les mêmes réparations des dépôts de moindre importance environnants, afin d'éviter de créer dans les petits dépôts un personnel toujours onéreux et mal occupé. Enfin les machines qui font le service des fortes rampes de Bar-le-Duc et de Commercy reviennent toujours à vide. On voit combien la nature du trafic peut influencer sur le parcours à vide des locomotives.

Le service fait par les machines à voyageurs ordinaires et mixtes sur les chemins du Nord, de l'Est et d'Orléans, se renferme à peu près exactement dans les limites que nous avons indiquées, dans notre seconde édition, comme devant être le service normal (25,000 kilom.); celui fait par les machines à marchandises est un peu moins élevé, puisque nous admettions pour les machines à marchandises un parcours de un cinquième plus grand que pour celles à voyageurs. Sur le chemin de l'Ouest seul il a dépassé celui des machines à voyageurs à peu près exactement dans cette proportion.

Si l'on admet un parcours total de 24,000 à 25,000 kilomètres par an pour les machines à voyageurs ordinaires et mixtes, et un

parcours de 22,000 à 25,000 kilom. seulement quand elles sont attelées aux trains, cela fait 66 kilomètres par jour dans le premier cas, et 65 dans le second. Or la locomotive en service fait chaque jour des trajets de 180 à 200 kilomètres, c'est-à-dire à peu près le triple du trajet moyen. Il faut donc en conclure que deux machines sont en réparation pour une en feu, ou, en d'autres termes, que chaque machine ne travaille en moyenne, dans l'année, que pendant quatre mois.

M. le docteur Lardner, dans un ouvrage publié en 1850, regarde comme un tour de force le travail moyen de toutes les locomotives du Great-Northern-railway, s'élevant à 25,000 kilomètres par an. Aujourd'hui c'est le travail normal de ces machines.

Lors de la première année d'exploitation d'un chemin de fer, le matériel étant entièrement neuf, on pourra dépasser la moyenne indiquée; mais, quand le matériel sera usé, on sera souvent exposé à rester au-dessous.

On devra aussi la réduire, quand au service d'une grande ligne vient s'ajouter celui d'embranchements d'une petite longueur, où le nombre des convois, étant peu considérable, force à employer les machines dans de mauvaises conditions.

Ces données sur le parcours des locomotives suffisent pour calculer, par approximation, le nombre de machines nécessaires à l'exploitation d'un chemin de fer sur lequel on aura déterminé, par hypothèse, le nombre des trains de voyageurs et de marchandises nécessaires pour un certain trafic.

Le matériel du service ordinaire ainsi fixé, si, certains jours de l'année, comme au chemin de Versailles, par exemple, on est obligé de transporter des masses extraordinaires de voyageurs, il faut, outre le matériel du service ordinaire, un matériel supplémentaire pour les jours de fêtes, dont la dépense augmente considérablement les frais de premier établissement. Pour apprécier l'importance de ce matériel, on détermine le nombre des machines qui doivent être mises en feu ces jours-là, et on suppose qu'une partie plus ou moins considérable, le quart, par exemple, ne pourra être mis en état de marcher pour ces solennités, ou qu'il devra rester en réserve.

Quelques ingénieurs, pour déterminer le nombre de locomotives nécessaires à un chemin de fer, ont suivi une autre marche que celle que nous venons d'indiquer. Ainsi ils ont admis que l'exploitation d'une ligne considérable par son trafic exige l'emploi de 5 machines locomotives par myriamètre; cependant ce nombre a été dépassé aux chemins du Nord et de Strasbourg. Le premier possédait, en 1860, 456 machines pour 967 kilomètres exploités, ou 4.7 machines par myriamètre, et le second 589 machines pour 1,685 kilomètres, soit 5,5 machines par myriamètre.

Sur des chemins d'une importance moindre, le nombre de machines par myriamètre est descendu à 2 et même au-dessous. Au chemin de Troyes à Montereau, par exemple, on a fait le service avec 16 machines pour 100 kilomètres, soit 1 machine 6/10 par myriamètre.

Le nombre des machines s'obtient d'une manière beaucoup plus précise en divisant le nombre total des kilomètres parcourus pendant l'année par les nombres que nous avons indiqués.

Wagons. — Le tableau suivant résume le parcours moyen annuel des wagons de différentes natures sur les chemins du Nord, d'Orléans et de Lyon. Pour le chemin de l'Est, il ne donne ce parcours qu'en ce qui concerne l'ensemble des wagons.

En l'étudiant, on remarque une beaucoup plus grande différence entre les wagons d'une même espèce qu'entre les locomotives de même nature. Cette différence est plus grande encore pour les wagons à marchandises que pour ceux à voyageurs. Cela tient à ce que le service des wagons ne peut pas se régler comme celui des locomotives. Les exigences du commerce, qui varient beaucoup sur les différentes lignes, nécessitent le stationnement plus ou moins long des wagons à marchandises dans les gares, ce qui diminue leur parcours. Le temps perdu au chargement et au déchargement est plus ou moins grand, suivant la nature des marchandises. Il exerce une plus ou moins grande influence sur le parcours moyen des wagons, selon que, le trajet étant plus ou moins long, l'opération se renouvelle plus ou moins souvent.

Ainsi nous remarquons :

1° Que le parcours moyen annuel des wagons de voyageurs sur

nos grandes lignes varie seulement entre 30,000 et 40,000 kilomètres; celui des wagons de 1^{re} classe entre 53,000 et 57,000, des wagons de 2^e classe entre 53,000 et 59,000, des wagons de 3^e classe entre 37,000 et 47,000.

2° Que le parcours des wagons à bagages est pour toutes les lignes sensiblement supérieur à celui des wagons à voyageurs, et qu'il s'est élevé sur le chemin de Lyon à 66,000 kilomètres.

3° Que l'écart pour les wagons exceptionnels entrant dans la composition des trains de voyageurs, tels que les trucks à équipages, wagons-écuries, wagons à lait, etc., est beaucoup plus grand, ce qui s'explique aisément.

4° Que pour les wagons à marchandises, il est également considérable, puisque le parcours moyen d'un wagon à marchandises au chemin du Nord étant d'environ 14,000 kilomètres, le même parcours s'élève au chemin d'Orléans à 27,500.

Le parcours des wagons à marchandises est, du reste, d'autant plus grand que la distance moyenne pour une tonne de marchandises est plus grande. En effet, le parcours est, pour le chemin du Nord, de 14,000 kilomètres environ, lorsque la distance moyenne pour une tonne de marchandises est de 133 kilomètres. Il est, au chemin de l'Est, de 20,000 kilomètres pour une distance moyenne de 160 kilomètres, et, au chemin d'Orléans, de 28,000 kilomètres pour une distance moyenne de 229 kilomètres.

Il résulte de ce qui précède que si la pratique nous fournit quelques données générales sur le parcours moyen des wagons de voyageurs, il n'en est pas de même pour les wagons exceptionnels et pour les wagons à marchandises.

Il faut donc, lorsqu'on établit le devis du matériel roulant d'un chemin de fer, procéder par analogie en cherchant celui des chemins portés sur notre tableau qui, pour l'activité et la nature du trafic, s'en rapproche le plus, ou chercher à se rendre compte directement du parcours probable que l'on peut assigner à chaque espèce de wagon.

Le tableau suivant résume ces parcours.

PARCOURS MOYEN DES VÉHICULES DE DIFFÉRENTES ESPÈCES.

NATURE DES VÉHICULES.		NORD.	EST.	ORLÉANS.	LYON.
Voitures et wagons à voyageurs.	Voitures de cérémonie.	844	»	»	»
	Salons.	7,655	»	»	»
	1 ^{re} classe.	54,706	»	55,727	56,698
	Mixtes.	58,606	»	28,785	»
	2 ^e classe.	58,745	»	35,551	58,599
	3 ^e classe.	57,469	»	40,406	47,445
	Fourgons à bagages.	50,500	»	60,015	66,225
	Trucks à équipages.	4,548	»	12,568	49,174
	Écuries.	8,284	»	19,094	20,654
	Wagons à lait.	86,808	»	26,519	8,979
Wagons-poste.	42,194	»	»	»	
PARCOURS MOYEN.		59,922	37,150	58,885	»
Wagons à marchandises.	Wagons-bergeries.	9,079	»	18,559	»
	— à bois.	11,675	»	»	»
	— à pierre.	8,792	»	»	»
	— à bestiaux.	18,099	»	54,557	9,495
	— à coulisses.	15,407	»	»	20,825
	— plats longs.	14,096	»	18,029	10,682
	— tombereaux.	15,211	»	»	18,820
	— à sable.	6,440	»	»	»
	— à houille.	»	»	»	»
	— à coke.	51,119	»	»	»
	— plats divers.	554	»	»	»
	— de secours.	»	»	»	»
	— à plaques tournantes.	7,592	»	»	»
	— maringottes.	25,650	»	26,428	27,656
— à farine.	»	»	11,550	»	
— à frein.	29,100	»	»	26,991	
PARCOURS MOYEN.		15,925	20,000	27,559	»

On voit, en étudiant ce tableau :

1° Que le parcours moyen de tous les véhicules employés dans les trains de voyageurs sur les trois grandes lignes portées dans ce tableau n'a pas été de moins de 29,000 kilomètres par an, et de plus de 59,000 kilomètres;

2° Que le parcours moyen minimum des wagons à marchandises a été de 14,791 kilomètres (chemin du Nord), et le parcours moyen maximum de 27,559 kilomètres (sur le chemin d'Orléans).

Ces parcours ont été d'autant plus grands, que les distances moyennes pour le transport des marchandises à petite vitesse ont été plus grandes, puisque ces distances ont été, pour une tonne de marchandises, de 161 kilomètres sur le chemin du Nord, de 169 sur celui de l'Est, et de 199 sur le réseau d'Orléans.

3° Que le parcours des fourgons à bagages, qui entrent dans la composition de tous les trains, a été plus grand que celui d'aucun autre véhicule, puisqu'il a atteint près de 52,000 kilomètres sur le chemin du Nord, et 60,000 sur le réseau d'Orléans.

4° Que le parcours des voitures de 1^{re} classe, qui entrent exclusivement dans la composition des convois à grande vitesse, est sensiblement plus grand que celui des voitures de 2^e et de 3^e classe.

5° Que les wagons de terrassement et les trucks à équipages, qui ne marchent qu'accidentellement, sont de tous les véhicules ceux qui font le moins de parcours.

6° Que le parcours moyen des wagons à marchandises est, comme on devait s'y attendre, très-variable.

Le nombre moyen de kilomètres parcourus par les véhicules de différentes espèces connu, il faut aussi se rendre compte de la composition moyenne d'un convoi. C'est ce qu'indique le tableau suivant pour différents chemins.

COMPOSITION MOYENNE D'UN CONVOI.

DESIGNATION DES VEHICULES.	COMPAGNIE DU NORD.		COMPAGNIE DE L'EST.		COMPAGNIE DE ROUEN.		COMPAGNIE D'ALSACE.		COMPAGNIE D'ORLÉANS.		COMPAGNIE DE LYON.		COMPAGNIES BELGES.	
	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.
Voitures de 1 ^{re} classe.	1,71	19	1,50	»	1,49	13	1,31	11	1,39	15	1,34	12	1,84	16
Id. de 2 ^e classe.	2,17	25	2,80	»	3,41	29	1,96	17	2,39	27	1,88	17	2,56	23
Id. de 3 ^e classe.	1,98	22	6,00	»	1,54	13	2,67	22	1,37	15	1,94	18	3,60	33
Total des voitures.	5,86	66	10,30	»	6,44	55	5,91	50	5,15	57	5,16	47	8,00	72
Wagons à bagages.	2,16	25	»	»	0,43	4	2,00	17	0,91	9	»	»	1,06	9
Id. divers.	0,77	9	»	»	5,00	41	3,89	33	3,19	34	5,61	53	2,14	19
Total des wagons.	2,93	34	»	»	5,43	45	5,89	50	4,10	43	5,61	53	3,20	28
Report des voitures.	5,86	66	10,30	»	6,44	55	5,94	50	5,15	57	5,16	47	8,00	72
	8,79	100	»	»	11,87	100	11,83	100	9,25	100	10,77	100	11,20	100

Observations. — Il n'y a qu'aux Compagnies de l'Est et de Lyon que nous ayons pu obtenir des chiffres récents sur la composition moyenne des trains. Pour les autres Compagnies, les données prises dans l'ouvrage publié par M. L'écuyer sont anciennes, mais elles suffisent en regard au but que nous nous sommes proposé.

Et, comme il faut aussi calculer le matériel en raison du nombre de voyageurs à transporter, et que les voitures ne sont jamais entièrement pleines, nous donnons ci-contre un tableau des places offertes et des places occupées sur différents chemins.

Enfin, pour aider à déterminer la quantité de matériel nécessaire à l'exploitation d'un chemin de fer, nous indiquons dans un nouveau tableau (page 375) le matériel en locomotives et véhicules de différentes espèces de plusieurs Compagnies, le travail total de ce matériel mesuré par le nombre de convois, le nombre de kilomètres parcourus par chaque espèce de convois, le nombre de kilomètres parcourus par les machines seules, le nombre de voyageurs et de tonnes transportés à un kilomètre, le parcours moyen d'un voyageur et d'une tonne de marchandises.

TABLEAU DES PLACES OFFERTES ET DES PLACES OCCUPÉES PAR CONVOI.

DÉSIGNATION des	COMPAGNIE du NORD.			COMPAGNIE de L'EST.			COMPAGNIE de BOUEN.			COMPAGNIE D'ALSACE.			COMPAGNIE D'ORLÉANS.			COMPAGNIES BELGES.		
	PLACES offertes.	PLACES occupées.	RAPPORT.	PLACES offertes.	PLACES occupées.	RAPPORT.	PLACES offertes.	PLACES occupées.	RAPPORT.	PLACES offertes.	PLACES occupées.	RAPPORT.	PLACES offertes.	PLACES occupées.	RAPPORT.	PLACES offertes.	PLACES occupées.	RAPPORT.
1 ^{re} classe. . .	51,28	7,22	7,10	56,0	41,0	5,27	55,76			59,50	5,57	41,00	55,76			55,20	8,69	6,55
2 ^e classe. . .	67,88	16,83	4,04	84,0	18,0	4,67	102,50	64,40	2,80	56,80	15,26	4,45	71,70	29,10	3,62	76,80	21,55	3,60
3 ^e classe. . .	88,15	49,89	1,77	240,0	102,0	4,57	46,20			80,10	54,17	2,54	41,40	50,45	1,55	108,00	48,98	2,20
	207,51	73,91	2,80	560,0	151,0	2,75	184,26	64,40	2,80	178,20	51,00	5,50	146,50	59,55	2,40	240,00	79,00	5,05

Observations. — Les Compagnies de l'Est et du Nord ont pu seules nous fournir des renseignements récents; les autres sont empruntés à l'ouvrage, déjà ancien, de M. Tessieron.

TABLEAU DU NOMBRE DE LOCOMOTIVES ET DE VÉHICULES

SUR DIFFÉRENTS CHEMINS (1860)

NATURE DU MATÉRIEL.	COMPAGNIE du Nord.	COMPAGNIE de l'Est.	COMPAGNIE d'Orléans.	COMPAGNIE de Lyon- Méditerranée.	
Nombre de machines	Crampton.	62	49	»	50
	Voyageurs.	125	407	488	419
	Mixtes.	36	165	46	268
	Marchandises.	215	241	62	405
	Gares.	20	25	»	50
Voitures des trains de voyageurs.	Cérémonies.	1	11	6	5
	Salons.	6	»	10	»
	1 ^{re} classe.	495	210	258	258
	Mixtes.	55	112	70	158
	2 ^e classe.	253	446	547	282
	3 ^e classe.	324	750	496	755
	Fourgons à bagages.	519	410	285	519
	Trucks à équipages.	55	66	65	195
	Écuries et bracks.	81	78	105	97
	Wagons à lait.	40	»	20	15
Wagons-poste.	27	5	56	6	
Voitures des trains de marchandises.	Wagons-bergeries.	50	25	60	15
	— à bois.	558	21	2	100
	— à pierres.	259	245	521	»
	— à bestiaux.	894	2,805	4,565	2,742
	— à coulisses.	801	»	»	5,812
	— plats longs.	955	652	1,476	178
	— tombereaux.	75	»	»	1,656
	— à sable.	525	116	»	840
	— à houille.	5,285	2,628	640	6,515
	— à coke.	1,046	400	64	554
	— plats divers.	856	277	72	2,221
	— à plaques tour- nantes.	10	»	12	»
	— maringottes.	»	2,417	»	550
	— à farines.	»	77	225	582
	— à freins.	150	502	104	»
— de secours.	24	22	59	29	
Parcours total des machines	à voyageurs.	6,228,705 ^k	7,575,955 ^k	6,624,086 ^k	8,001,224 ^k
	à marchandises.	5,265,895 ^k	7,401,965 ^k	5,655,854 ^k	7,644,666 ^k
Parcours total des trains	de voyageurs.	5,178,015 ^k	6,217,990 ^k	4,547,566 ^k	7,802,096 ^k
	de marchandises.	4,850,500 ^k	5,615,091 ^k	5,051,080 ^k	6,758,244 ^k
Parcours moyen	d'un voyageur.	44 ^k	54 ^k	74,08 ^k	75 ^k
	d'une tonne de mar- chandises.	155 ^k	160 ^k	229,52 ^k	207 ^k
Voyageurs transportés à 1 kil.	521,420,592	549,592,868	406,540,805	590,967,088	
Tonnes de marchandises, <i>id.</i>	465,321,237	468,512,760	480,545,010	876,527,557	

Le matériel de ces différents chemins est faible, comparé au trafic. Il convient, en général, de commander un matériel excédant les besoins plutôt que de s'exposer à se trouver renfermé dans des limites trop restreintes. Toutes nos grandes Compagnies ont perdu des recettes considérables faute de matériel.

Il nous reste maintenant, pour compléter l'analyse que nous avons entreprise des dépenses qui composent le prix de construction des chemins de fer, à parler du montant de celles qui concernent les approvisionnements, le contentieux et l'imprévu.

Approvisionnements. — La dépense pour approvisionnements ne peut donner lieu à des erreurs bien graves. On la calculera facilement, en admettant qu'il suffit de posséder en magasin ou sur les chantiers la quantité de coke et de matériaux nécessaire aux besoins d'un service actif pendant plusieurs semaines.

Contentieux. — Les frais de contentieux, souvent considérables, sont beaucoup plus sujets à variations.

Frais imprévus. — Les frais imprévus doivent être estimés à un dixième de la dépense totale; ce n'est pas leur faire une part trop large dans un devis aussi difficile à établir que celui d'un chemin de fer.

La revue que nous venons de passer des éléments du prix d'établissement des chemins de fer confirme ce fait énoncé en commençant ce chapitre, que si quelques-uns peuvent être facilement calculés d'avance, d'autres, au contraire, et ce sont les plus importants, ne sauraient être appréciés avec exactitude. Comment donc s'étonner des erreurs commises par les ingénieurs dans des estimations aussi difficiles et aussi variées, lorsqu'on voit si souvent les architectes se tromper dans le simple devis d'une maison?

DES MARCHÉS A PASSER POUR L'EXÉCUTION DES CHEMINS DE FER.

Marchés à forfait. — *Bien des personnes pensent qu'on peut éviter des mécomptes en passant des marchés à forfait pour la totalité de l'exécution.*

Il est très-important de combattre cette opinion, dont la pratique a démontré la fausseté.

Les administrateurs des Compagnies sont, en général, fort enclins à passer des marchés à forfait, parce qu'ils croient, de cette manière, se mettre à l'abri de toute responsabilité.

C'est un moyen commode pour eux de se décharger des soins de l'exécution, mais très-préjudiciable, selon nous, aux intérêts bien entendus des actionnaires, et par lequel on les induit souvent dans de très-graves erreurs.

Qu'arrivera-t-il, en effet, si l'on traite à forfait avec un entrepreneur unique pour l'exécution d'un chemin, dont le capital est considérable, comme l'a été, par exemple, celui du chemin de Strasbourg à Bâle? Ou l'entrepreneur se sera donné une grande latitude dans l'estimation de la dépense, et il réalisera d'énormes bénéfices; ou, trop hardi dans sa soumission, il aura dépassé de beaucoup ses prévisions; ou enfin la dépense s'éloignera peu de ses devis, et son bénéfice sera modéré ou sa perte tolérable.

Dans le premier cas, les actionnaires éprouveront un préjudice que l'on aurait pu éviter.

Dans le second, la fortune de l'entrepreneur deviendra insuffisante, et il abandonnera les travaux, ou, ce qu'il y a de plus probable, il suscitera à la Compagnie de tels embarras, qu'elle se trouvera conduite à la résiliation du traité sans indemnité et avec restitution du cautionnement, car il est toujours dangereux d'entamer un procès avec un entrepreneur puissant. Le succès est fort problématique, les travaux en sont toujours retardés, et les Compagnies sages évitent, à tout prix, de pareils débats devant les tribunaux.

Dans le dernier cas, le traité peut être considéré comme avantageux pour la Compagnie et pour l'entrepreneur; mais on conçoit que, vu l'incertitude que présentent les estimations des travaux d'un chemin de fer, ce ne sera pour ainsi dire que par hasard et bien rarement que, plus habile que les ingénieurs les plus expérimentés, l'entrepreneur sera parvenu à déterminer, à peu près exactement, les frais de construction. Un entrepreneur prudent escomptera toujours cette incertitude à son profit, et ne consentira à traiter qu'à des prix fort élevés.

Ce que nous avançons, il nous serait facile de le prouver par de

nombreux exemples. Nous n'en citerons cependant qu'un petit nombre.

Le chemin de Strasbourg à Bâle a été entrepris par M. Nicolas Kœchlin, au prix de 40 millions. Il est impossible de savoir exactement quel a été le bénéfice de M. Kœchlin sur cette affaire ; mais, à considérer la nature des travaux à exécuter et le prix accordé pour ces travaux, on croira difficilement que le bénéfice n'ait pas été considérable ; et cependant le chemin livré à la Compagnie était loin d'être parfait, loin surtout d'être complet. Les contestations entre M. Kœchlin et la Compagnie ont été nombreuses : nous ne prétendons pas nous en faire juge ; encore moins critiquerons-nous une œuvre qui, sous tant de rapports, fait honneur aux ingénieurs qui l'ont accomplie ; mais nous ne pouvons nous empêcher de nous poser cette question :

Les administrateurs du chemin de Bâle à Strasbourg auraient-ils passé un marché à forfait pour l'exécution de ce chemin s'ils eussent prévu que, malgré ce marché, ils auraient à créer, à côté du capital souscrit primitivement par les actionnaires, un nouveau capital d'emprunt, pour compléter leurs ateliers, loger leurs employés et reconstruire une partie de leur matériel ? Il est permis d'en douter.

Le chemin de Blesmes à Gray a été entrepris à forfait. La Compagnie de l'Est, qui a hérité du traité à forfait en achetant le chemin, s'est trouvée forcée de le résilier par la crainte de voir l'exécution de ses travaux considérablement retardée et par celle des procès dont les entrepreneurs la menaçaient. Elle les a évincés en leur payant une indemnité considérable.

Il en a été de même de la Compagnie de l'Ouest (Suisse) pour le chemin d'Yverdon à Morges et à Lausanne.

Ces deux chemins, celui de Blesmes et celui d'Yverdon à Morges et Lausanne, auront, tous comptes réglés, coûté fort cher.

Il y a deux manières de traiter à forfait pour l'exécution d'un chemin de fer.

1° On annexe au traité un devis explicatif des travaux à exécuter ;

2° On traite sans devis explicatif, à cette seule condition que le

chemin sera reçu par l'administration des ponts et chaussées comme satisfaisant aux obligations du cahier des charges.

Le premier mode a été adopté pour l'achèvement du chemin de Versailles (rive gauche).

Dans ce cas, tout ouvrage qui n'est pas prévu au devis est payé séparément, et le principal avantage que l'on prétendait retirer du traité à forfait disparaît.

Peut-être objectera-t-on qu'il est facile d'éviter ce surcroît de dépense en stipulant dans le traité que tout ouvrage non prévu au devis, et cependant nécessaire à l'établissement du chemin, sera exécuté aux frais de l'entrepreneur.

Les arbitres nommés pour décider des contestations entre la Compagnie et l'entrepreneur à forfait ne s'arrêtent jamais à la lettre des conventions ; ils les interprètent toujours en faveur de l'entrepreneur, surtout si celui-ci est assez adroit pour leur persuader que l'opération lui est onéreuse. Les Compagnies, en cas de procès, sont presque toujours sacrifiées, et l'entrepreneur a toutes les chances de bénéfices en sa faveur sans courir les chances de perte.

C'est ce qui est arrivé à la Compagnie de Versailles (rive gauche), qui a dû payer 800,000 fr. à M. Séguin pour travaux imprévus, bien que le traité stipulât formellement que ces travaux devaient être à la charge de l'entrepreneur.

En vain les administrateurs du chemin, qui s'étaient rendus personnellement garants de toute dépense excédant le chiffre du forfait, avaient-ils consulté pour la rédaction du traité trois de nos plus célèbres avocats, MM^{es} Chaix d'Est-Ange, Ph. Dupin et Bethmont.

La Compagnie du chemin de fer de Lyon à Genève avait divisé ses travaux en plusieurs lots, et traité à forfait pour chacun de ces lots. Elle a été forcée de résilier tous ces marchés à son grand préjudice, à l'exception d'un seul, celui passé avec MM. Parent et Brassey, pour l'exécution du souterrain du Crêdo.

Le traité à forfait avec devis descriptif a aussi l'inconvénient d'exposer à des procès souvent très-graves, lorsqu'il devient nécessaire d'apporter en cours d'exécution des modifications à des plans qu'il est bien difficile d'arrêter complètement. Ces modifications sont, dans tous les cas, payées fort cher à l'entrepreneur, et ont

pour conséquence le surcroît de dépenses que l'on voulait éviter en traitant à forfait.

Pour le chemin de Bâle à Strasbourg, c'est le second mode de traité à forfait qui a obtenu la préférence.

Il ne présente cependant pas moins d'inconvénients que le précédent.

Quelles garanties offre-t-il, en effet, à la Compagnie de la bonne exécution des travaux ?

Toutes les fois qu'un chemin est construit à forfait par un entrepreneur unique, riche et tout-puissant, à qui les moyens ne manquent pas pour séduire les employés subalternes de la Compagnie, il est bien difficile, quelles que soient les conventions faites, d'échapper à la fraude, de se préserver des malfaçons, et cela devient pour ainsi dire impossible si le traité n'est pas accompagné d'un cahier des charges indiquant tous les travaux à exécuter et déterminant leur mode d'exécution.

La réception des chemins par les ingénieurs de l'État se fait ordinairement avec une indulgence excessive. Elle ne porte d'ailleurs que sur des ouvrages dont on ne peut visiter que l'extérieur. Que les terres composant un remblai glaiseux aient été imparfaitement desséchées, et qu'on ait négligé de les pilonner, que la chaux employée pour la construction d'un travail en maçonnerie soit de mauvaise qualité, que les bois invisibles d'une charpente soient vicieux ou qu'ils aient été mal assemblés, les ingénieurs chargés de la réception des travaux ne peuvent pas évidemment s'en apercevoir.

L'entrepreneur, nous dira-t-on, garantit ses ouvrages pour une année, pour deux années même. Garantie illusoire ! L'expérience a prouvé que, sur la plupart des grandes lignes de chemins de fer, les éboulements des talus glaiseux mal établis ne s'étaient manifestés que trois ou quatre ans après l'ouverture du chemin, et des ouvrages en maçonnerie ou en charpente, bien que manquant de solidité, peuvent résister plusieurs années de suite.

Le tracé des chemins de fer ne pouvant être déterminé à l'avance, puisque la Compagnie doit le soumettre à l'approbation de l'État, il arrive quelquefois que l'entrepreneur à forfait combat auprès du

gouvernement les tracés proposés par la Compagnie; donnant toujours la préférence aux tracés les plus économiques de construction, tandis que la Compagnie recherche les plus productifs. Ce cas s'est présenté pour le tracé du chemin de Blesmes à Gray, aux abords de la ville de Chaumont. Les raisons abondent par conséquent pour repousser les marchés à forfait.

On nous opposera peut-être encore, comme argument en faveur des marchés à forfait, l'exemple du chemin de Rouen, construit à forfait avec le double avantage de la rapidité et de l'économie.

Nous répondrons que le marché passé pour l'exécution du chemin de Rouen n'est pas un véritable marché à forfait, puisque l'ingénieur en chef était libre d'accorder aux entrepreneurs toute indemnité qui lui paraissait équitable, et que les entrepreneurs acceptaient l'arbitrage suprême de cet ingénieur. Le conseil d'administration s'était, dans ce cas, tout simplement démis de son pouvoir en faveur de son ingénieur, avec lequel les entrepreneurs ont eux-mêmes traité de confiance. La Compagnie ne se trouvait en aucune manière garantie de tout mécompte par ce marché; et, si l'on consulte le tableau des prix de revient, en se souvenant que le chemin de Rouen n'a pas été dans l'obligation de construire une tête de gare coûteuse comme celle d'Orléans, on reconnaîtra que les travaux, bien que moins solidement exécutés que ceux du chemin d'Orléans, n'ont pas été moins dispendieux.

Si, du reste, le traité à forfait doit être repoussé, c'est surtout lorsqu'il est proposé par les fondateurs d'une Compagnie à leurs associés, ces fondateurs devenant eux-mêmes entrepreneurs tout en restant administrateurs.

Quelque honnêtes que l'on suppose les administrateurs d'une entreprise, il est impossible qu'ils se dérobent à l'influence qu'exercent sur eux des collègues plus adroits et plus expérimentés.

Quelques lignes (Bâle, Lyon à la Méditerranée, Dijon à Besançon, Blesmes à Gray), exécutées à forfait, ont été, pour une partie des administrateurs, un objet de spéculation.

Il n'est pas rare de voir aujourd'hui de riches entrepreneurs se charger à forfait de l'exécution de lignes assez importantes, et prendre des actions en paiement d'une partie de leur marché. Ces

entrepreneurs ne craignent pas de s'exposer à perdre sur leurs actions pour réaliser un bénéfice énorme qui couvre et au delà les pertes provenant des actions. Il est bon d'éclairer les actionnaires sur le danger de ces sortes de combinaisons.

Dans plusieurs Compagnies, aux travaux desquelles nous avons participé, celles des chemins de fer de l'Est (France), de Guillaume-Luxembourg et de l'Ouest (Suisse), les conseils d'administration aujourd'hui existants se sont résignés à payer des sommes plus ou moins importantes pour résilier des traités faits par ceux qui les avaient précédés avec des entrepreneurs à forfait.

En Angleterre, on n'a généralement exécuté à forfait que des travaux partiels et assez limités. Il en a été de même en Belgique.

Marchés sur séries de prix. — *Le mode exclusivement adopté pour l'exécution des travaux par l'administration, en France, et par plusieurs Compagnies importantes, celles du Nord, d'Orléans, de l'Est, de Lyon et du Midi, a été celui sur séries de prix.*

On convient alors, avec les entrepreneurs, de certains prix débattus pour chaque nature d'ouvrage. On leur paye, par exemple, un prix déterminé pour la fouille et charge d'un mètre cube de telle nature de terre ou de roche bien déterminée; pour la construction d'un mètre cube de maçonnerie en moellons; d'un mètre cube de maçonnerie en pierre de taille; pour le transport à une distance déterminée d'un mètre cube chargé en tombereau ou en wagon, etc., et on règle leurs comptes après estimation du travail exécuté.

L'établissement des séries de prix est une opération d'une grande importance, qu'il ne faut confier qu'à des ingénieurs expérimentés et connaissant bien les prix dans les localités où ils travaillent.

Le choix des entrepreneurs exerce une grande influence sur le succès du marché.

Les marchés sur séries de prix n'exposent pas à des mécomptes aussi grands que ceux à forfait; il ne faudrait pas croire toutefois qu'ils permettent de faire une estimation très-exacte de travaux même bien déterminés.

Les ingénieurs et les entrepreneurs, au moment des règlements,

ne sont jamais d'accord sur l'interprétation des séries. Les entrepreneurs élèvent toujours des prétentions que les arbitres, même les plus impartiaux, ne repoussent jamais complètement. L'entrepreneur qui fait fortune n'est pas celui qui fait exécuter les travaux au meilleur marché possible, c'est le plus souvent celui qui fait valoir des prétentions avec le plus d'adresse auprès des arbitres. C'est le meilleur avocat plus encore que le meilleur praticien.

Quelquefois pressé par l'obligation de terminer rapidement les travaux, on laisse certains prix, tels que ceux des matériaux, indéterminés. Dans ce cas, l'ingénieur en chef doit faire disparaître les inconnus dans le plus bref délai possible, s'il ne veut rester à la discrétion des entrepreneurs.

Les travaux étant exécutés sur séries de prix, convient-il de les confier à un seul entrepreneur ou de les diviser entre un nombre plus ou moins grand d'entrepreneurs? C'est une question qui a été agitée dans le sein des conseils d'administration de plusieurs grandes lignes.

Dans certains cas, il vaut incontestablement mieux partager les travaux entre plusieurs entrepreneurs. On peut, de cette manière, en faisant agir convenablement la concurrence, parvenir à une réduction dans les prix que l'on n'obtiendrait pas d'un entrepreneur unique. Le système d'un entrepreneur unique présente d'ailleurs une partie des inconvénients inhérents aux forfaits. La Compagnie des chemins de fer de l'Est a cru devoir néanmoins traiter, pour l'exécution du chemin de Paris à Mulhouse, avec un entrepreneur unique, parce que, obligée de construire le chemin dans un délai très-court, elle a pensé qu'elle atteindrait plus facilement ce but avec un entrepreneur intelligent et puissant, qui d'ailleurs lui était parfaitement connu, qu'avec plusieurs entrepreneurs moins expérimentés et moins bien outillés. Ajoutons que cet entrepreneur, désireux d'attacher son nom à ce grand travail, a consenti un rabais inespéré, différant peu de celui qu'offraient de petits entrepreneurs. Cette Compagnie n'eût probablement pas traité avec tout autre entrepreneur, qui eût présenté moins de garanties et surtout qui n'aurait pas eu précédemment avec elle des relations aussi satisfaisantes. Nous devons aussi faire observer qu'elle a distrait de ce

marché un certain nombre de travaux qui ne nécessitent pas l'intervention d'un grand entrepreneur, tels que les maisons de gardes, les bâtiments des stations, les hangars, clôtures, etc.

Aujourd'hui, les Compagnies entreprenant d'immenses travaux dont la surveillance est d'autant plus difficile que ces travaux s'étendent sur un plus grand espace, l'intervention des grands entrepreneurs semble nécessaire et obtient ordinairement la préférence.

L'État passe généralement les marchés par voie d'adjudication. Il obtient souvent de cette manière de grands rabais; mais ces rabais sont parfois excessifs, et les entrepreneurs, ruinés, abandonnent les travaux. Les Compagnies choisissent leurs entrepreneurs, et fixent les prix avec eux à l'amiable; ou, si elles recourent à l'adjudication, elles n'admettent au concours que des entrepreneurs placés au premier rang pour la capacité et pour la solvabilité. Il est reconnu aujourd'hui que ce dernier système est préférable au premier.

Écartant les entrepreneurs qui feraient des prix trop faibles, aussi bien que ceux qui en feraient de trop élevés, les Compagnies opèrent dans de meilleures conditions que l'État. Les travaux sont mieux exécutés, et souvent, tous comptes faits, ils sont moins coûteux.

Des moyennes du prix de construction des chemins de fer.

Il ressort suffisamment de l'examen auquel nous nous sommes livré précédemment du prix de revient d'un certain nombre de chemins de fer que l'on ne saurait avoir confiance dans les moyennes lorsqu'il s'agit de déterminer sérieusement la dépense d'établissement d'une grande ligne de chemin de fer.

Les moyennes, lorsqu'on ne leur attribue que leur juste valeur, n'en sont pas moins utiles pour fixer les idées dans les discussions générales, et même pour guider dans l'étude préalable et rapide que l'on est quelquefois obligé de faire de certains projets.

Nous avons vu que la moyenne des frais de construction était pour :

Les chemins anglais (en 1859), de.	555,000 fr.
— français (en 1855), de.	591,000
— belges faits par l'État (en 1852), de.	270,000
— allemands (en 1860), de.	255,000
— américains (en 1855), de.	96,500

La moyenne pour les grandes lignes établies en France (Nord, Paris à Strasbourg, Paris à Lyon, Paris à Orléans, Paris au Havre, Lyon à la Méditerranée) est d'environ 465,000 fr.

Nous avons indiqué les variations subies depuis lors par ces moyennes; mais il nous serait difficile d'indiquer la décomposition des prix les plus récents, tandis que les documents statistiques publiés par l'État nous la fournirent pour la moyenne des chemins français en 1855. Nous nous bornerons donc à indiquer la décomposition du prix de 1855.

D'après les documents statistiques, la dépense des grandes lignes, dont le prix moyen est de 465,000 fr., s'est répartie de la manière suivante :

Administration, frais généraux, etc.	17,000 fr.
Achats de terrains.	65,000 »
Terrassements et travaux d'art.	150,000 »
Bâtiments des stations, ateliers, dépenses diverses, etc.	48,000 »
Par la double voie, y compris l'ensablement ainsi que les voies accessoire, plates-formes et changements de voie.	122,000 »
Matériel d'exploitation.	61,000 »
TOTAL.	465,000 fr.

Pour trois lignes de moindre importance, les chemins de Nancy à Sarrebruck, Metz à Thionville, Strasbourg à Wissembourg, en supposant la double voie posée, la dépense moyenne par kilomètre a été de 258,000 fr., répartis comme il suit :

Administration, frais généraux, etc.	10,000 fr.
Achats de terrain.	57,000 »
Terrassements et travaux d'art.	70,000 »
Bâtiments, ateliers et dépenses diverses.	22,000 »
Pour la double voie, y compris l'ensablement ainsi que les voies accessoire, plates-formes et changements de voie.	92,000 »
Matériel roulant.	27,000 »
TOTAL.	258,000 »

En n'admettant qu'une seule voie, la dépense serait de 50,000 fr. moindre, soit de 228,000 fr.

Toutes les grandes artères, en France, sont exécutées ou sur le point de l'être; nous n'avons plus à estimer, comme l'a fait M. Julien, ce que pourraient coûter de nouvelles lignes de cette importance; mais il reste encore un grand nombre de voies moins productives à établir. On peut les diviser en deux classes: les voies d'une importance à peu près égale à celle de la ligne de Paris à Mulhouse, et celles d'un produit un peu moins élevé, telles, par exemple, que les chemins de Blesmes à Gray, Dijon à Besançon, etc., etc.

En admettant que celles de la première classe seraient établies avec des rails du poids de 57 à 58 kilogrammes, comme les grandes artères à une seule voie, dans les conditions de pentes et de rayons de courbures généralement admises aujourd'hui (voir le chapitre du tracé), et celles de la seconde classe, avec des rails de 50 kilogrammes seulement¹, nous pensons que les chemins de la première classe ne coûteront généralement que 280,000 fr., soit :

En frais généraux, personnel, etc.	10,000 fr.
Terrains.	55,000 »
Travaux de terrassements et travaux d'art, clôtures, haies vives.	115,000 »
Bâtimens, ateliers et dépenses diverses.	20,000 »
Voie simple ballastée, voies accessoires, d'évitement, de garage.	70,000 »
Matériel roulant.	50,000 »
TOTAL.	280,000 fr.

Ce prix est sensiblement plus élevé que le prix moyen des trois chemins de Nancy à Metz, Metz à Thionville et Strasbourg à Wissembourg, en supposant le prix d'une seule voie (228,000 fr.); mais il ne faut pas oublier que deux de ces chemins, ceux de Thionville et de Wissembourg, ont été établis dans des circonstances exceptionnellement favorables, les rails de ces chemins ayant été achetés à des prix très-faibles, et ceux du chemin de Wissembourg ne pesant que 50 kilogrammes, les travaux étant de peu d'importance et le matériel roulant n'étant calculé que pour un trafic infé-

¹ Si les pentes sont trop fortes, il vaut mieux, même sur les chemins de deuxième classe, employer des rails de 37 kilog.

rieur à celui de Mulhouse. Le prix moyen ainsi établi est à peu près celui du chemin de Nancy à Metz.

Ceux de seconde classe coûteraient environ 210,000 fr. ainsi répartis :

Frais généraux et personnels..	10,000 fr.
Terrains..	25,000 »
Travaux d'art et terrassements..	80,000 »
Bâtiments, ateliers et dépenses diverses..	15,000 »
Voie simple ballastée, voie d'évitement, voies de garage et accessoires de la voie..	55,000 »
Matériel roulant..	20,000 »
TOTAL..	<u>205,000 fr.</u>

C'est à peu près le prix de revient des chemins allemands.

Nous avons supposé la dépense faite pour les achats de terrains inférieure à celle admise pour les chemins de première classe, parce que nous avons admis que le pays traversé par le chemin de fer était moins riche, moins peuplé; celle pour les travaux d'art a été également réduite, dans l'hypothèse que l'on adopterait des pentes plus fortes et des rayons de courbure plus petits. Le matériel roulant a été proportionné au trafic présumé.

L'auteur des documents statistiques, sans faire de distinction entre les chemins à une voie de 1^{re} et de 2^e classe, établit le prix de revient d'un chemin à une voie, dans des conditions moyennes, de la manière suivante :

Frais généraux..	11,599 fr. ou 5 p. 100 de la dépense	
Acquisition de terrains pour deux voies..	50,718 » 15,5	[totale.
Terrassements et ouvrages d'art pour deux voies..	75,905 ¹ » 55,5	
Voies de fer et accessoires..	65,850 ² » 28,9	
A REPORTER..	<u>185,872 »</u>	<u>80,7</u>

¹ Dont, en terrassements, 55,959 fr. ou 71 pour 100, et, en ouvrages d'art, 21,966 fr. ou 29 pour 100.

² Dont, pour la voie de fer, 62,700 fr. ou 95 pour 100, et, pour les accessoires, 5,150 fr. ou 5 pour 100.

La dépense pour la voie de fer se subdivise elle-même en ballast, 17 pour 100; pose, 7 pour 100; voie proprement dite, 76 pour 100.

La dépense pour les accessoires se subdivise elle-même en plaques tournantes,

	REPORT.	185,872 »	80,7
Gares et dépendances.		10,000 ¹ »	4,4
Dépenses diverses.		10,105 ² »	4,4
Matériel roulant.		24,000 »	10,5
	TOTAL.	227,975 fr.	100,00

C'est, à 25 fr. près, le prix moyen des chemins de Nancy à Saarbruck, Metz à Thionville, et Strasbourg à Sarrebourg, en ne supposant qu'une voie unique.

La répartition de la dépense est aussi à peu près la même.

Pour une ligne à deux voies, dans des conditions moyennes, nous trouvons dans les documents statistiques le prix de revient suivant :

Frais généraux.	16,486 fr.	ou 5 p. 100	de la dépense
Acquisition de terrains.	30,718 »		9,5
Terrassements et ouvrages d'art.	89,590 ³ »		27,1
Voies de fer et accessoires.	120,700 ⁴ »		36,6
Gares et dépendances.	14,000 ⁵ »		4,2
Dépenses diverses.	10,418 ⁶ »		5,2
Matériel roulant.	48,060 »		14,6
	TOTAL.	329,772 fr.	100,00

Nous terminerons ce chapitre en faisant observer qu'en créant

57 pour 100; changements de voie, 29 pour 100; signaux fixes et outillage de la voie, 14 pour 100.

¹ Dont, en gares de 1^{re} classe, 5,000 fr. ou 50 pour 100; en gares de 2^e classe, 1,200 fr. ou 12 pour 100; en gares de 3^e classe, 3,800 fr. ou 38 pour 100.

² Dont, en clôtures, maisons de gardes et passages à niveau, 6,500 fr. ou 64 pour 100; en mobilier, 2,400 fr. ou 24 pour 100; en alimentation de machines, 1,000 fr. ou 10 pour 100; et, pour le télégraphe électrique, 205 fr. ou 2 pour 100.

La dépense pour clôtures, maisons de gardes et passages à niveau se subdivise elle-même en clôtures, 49 pour 100; maisons de gardes, 38,5 pour 100; passages à niveau, 15,5 pour 100.

La dépense pour le télégraphe électrique se subdivise elle-même en pose du fil, 50 pour 100; appareils, 50 pour 100.

³ Dont, en terrassements, 67,424 fr. ou 75 pour 100, et, en ouvrages d'art, 21,966 fr. ou 25 pour 100.

⁴ Dont, pour la voie de fer, 115,000 fr. ou 95 pour 100, et, pour les accessoires, 5,700 fr. ou 5 pour 100. Les dépenses pour la voie de fer et pour les accessoires se subdivisent elle-mêmes comme il est indiqué à la note 2 de la page précédente.

⁵ Dont, en gares de 1^{re} classe, 7,000 fr. ou 50 pour 100, en gares de 2^e classe, 1,680 fr. ou 12 pour 100; en gares de 3^e classe, 5,520 fr. ou 38 pour 100.

⁶ Dont, en clôtures, maisons de gardes et passages à niveau, 6,500 fr. ou 62 pour 100;

le capital présumé nécessaire à la construction d'un chemin de fer, il ne faut pas oublier qu'un chemin ne doit pas être considéré comme entièrement terminé, parce que la voie a pu être livrée au public. Le capital des chemins de fer exploités ne s'est-il pas sensiblement accru depuis le jour de leur mise en exploitation, soit par suite d'accidents arrivés aux ouvrages d'art ou aux travaux de terrassements, accidents dont on ne saurait se garantir entièrement que par des dépenses excessives¹, soit aussi parce que l'exploitation fait naître des besoins imprévus d'agrandissement et d'amélioration?

Il ne faut pas, du reste, s'effrayer de l'énorme dépense qu'entraîne l'établissement des chemins de fer, quand on songe aux immenses produits de leur exploitation.

en mobilier, 2,700 fr. ou 26 pour 100; en alimentation des machines, 1,000 fr. ou 10 pour 100, et, pour le télégraphe électrique, 218 fr. ou 2 pour 100.

La dépense pour clôtures, maisons de gardes et passages à niveau se subdivise elle-même comme il est indiqué à la note 2 de la page précédente.

La dépense pour télégraphe électrique se subdivise également en pose du fil, 85 pour 100, et appareils, 15 pour 100.

¹ Si un ingénieur calculait toujours les dimensions des ouvrages de manière à éloigner toute chance d'accidents, il risquerait de se jeter dans des dépenses excessives. Aussi doit-il, tout en restant dans les limites de solidité raisonnables, attendre pour exécuter certains travaux que le temps en ait démontré la nécessité. Dans la construction des canaux, par exemple, on ne cherche pas à rendre les talus étanches dès l'ouverture. Ce n'est que lorsque les fuites se manifestent que l'on y remédie.

CHAPITRE VI

DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET DES TRAVAUX D'ART

Nous avons vu que les chemins de fer à grande vitesse, dans l'état du moins où se trouve la science aujourd'hui, doivent remplir deux conditions importantes : la première, de se développer, autant que possible, en ligne droite ou en suivant des courbes de très-grand rayon; la seconde, de ne présenter que des pentes faibles.

Nous avons dit qu'on ne peut y satisfaire dans les pays accidentés qu'en exécutant de grands travaux de terrassement et de grands travaux d'art.

Les premiers, différant, si ce n'est par leur nature, du moins par leur importance, de ceux auxquels donne lieu la construction des routes ordinaires, nécessitent des moyens beaucoup plus puissants, surtout en ce qui concerne le transport des terres à de grandes distances. Aussi le chemin de fer est-il devenu pour ce genre d'opération son propre auxiliaire, et a-t-on transporté les terres sur des chemins de fer provisoires avec des machines locomotives, comme on transporte sur le chemin définitif les voyageurs et les marchandises.

De là, un art nouveau et sur lequel on pourrait publier un volume entier. Il n'entre pas dans notre plan de le décrire¹. Nous nous bornerons donc à une courte analyse des procédés et à de brèves réflexions sur les applications qui en ont été faites.

En Angleterre, il s'est formé, dès l'origine des chemins de fer, une classe d'entrepreneurs riches et habiles qui se sont adonnés

¹ Voir pour de plus amples renseignements le nouveau *Portefeuille de l'ingénieur*, l'intéressant *Mémoire* publié en 1859 par M. Carl. Etzel, sur l'organisation des grands chantiers de terrassement, et enfin l'ouvrage allemand intitulé : *Siebenzehn Tafeln zur praktischen Antheilung zum Erdbau*, von L. Henz.

spécialement aux grands travaux de terrassement, concentrant toute leur attention sur l'amélioration des procédés et sur la formation de leur personnel, créant pour l'exécution un matériel spécial dont l'emploi leur était garanti pour un assez long avenir. Ces hommes, puissants par leurs ressources pécuniaires tout autant que par leur intelligence, ont apporté de grands perfectionnements dans la branche d'industrie dont ils s'occupaient.

Les ingénieurs qui ont construit les premiers chemins de fer aux environs de Paris ont manqué de ces auxiliaires pour les seconder. Ils ont été obligé de diriger en personne, presque sans intermédiaires, les premiers travaux de terrassement, pour lesquels il a fallu renoncer aux anciens procédés. Tout en se formant eux-mêmes à ce nouveau genre d'opérations, ils ont dû y former également leurs entrepreneurs, conducteurs, piqueurs et ouvriers. Les Compagnies ont dû fournir le matériel, et généralement, pour éviter une dépense trop onéreuse, elles ont été dans la nécessité de se servir de leurs rails définitifs pour les terrassements.

La construction du chemin de Rouen par une Compagnie anglaise a ouvert une ère nouvelle, et les ingénieurs des nouveaux chemins de fer se sont trouvés placés, à cet égard, dans de meilleures conditions que leurs devanciers.

D'habiles et riches entrepreneurs belges, MM. Parent, Schaken et C^{ie}, ont exécuté la plupart des travaux du chemin de fer de Strasbourg, des lots très-importants sur les chemins du Nord et de Lyon, le chemin de Lyon à Avignon et le chemin de Mulhouse tout entiers.

Cette organisation du travail, à laquelle on est conduit par l'expérience des Anglais en ce qui concerne les travaux de chemins de fer, nous paraît être une des meilleures conditions de succès des grandes entreprises.

Dépôts et emprunts. — Les terres provenant des tranchées sont portées sur l'axe du chemin pour composer les remblais, ou déposées à une distance plus ou moins grande des bords. Dans le premier cas, on travaille *par voie de compensation*; dans le second, *par voie de dépôt*. On élève aussi des remblais avec des terres *empruntées* dans le voisinage : c'est ce qui s'appelle travailler *par voie d'emprunt*.

Le mode d'exécution par voie de dépôt et d'emprunt est toujours plus coûteux que celui par compensation, quand les distances auxquelles les terres doivent être transportées sur l'axe de la route ne sont pas considérables et que les terrains où l'on doit déposer les terres ou les emprunter ont quelque valeur; mais il peut l'emporter sur le second, même au point de vue de la dépense, quand ces distances deviennent très-grandes, et, dans tous les cas, il est fort expéditif. Aussi l'a-t-on appliqué au percement des tranchées et à la confection des remblais d'un grand nombre de chemins de fer, bien que, pour la construction des routes et des canaux, il n'en ait été fait usage que rarement.

La méthode des dépôts et des emprunts a d'ailleurs, pour l'exécution des chemins de fer, d'autres avantages que nous avons déjà signalés au chapitre du tracé.

La substitution, pour les terrassements, des wagons roulant sur un chemin de fer aux tombereaux roulant sur le sol oblige à modifier la disposition des ateliers de chargement et de déchargement. C'est dans les changements que nécessite cette disposition que se présentent les principales difficultés du travail au wagon.

Les tombereaux marchant isolément et sur le sol naturel peuvent se charger en un point quelconque de la tranchée et se diriger, par une infinité de routes différentes, vers les points de déchargement. Ils peuvent également se vider en un point quelconque du remblai. Les wagons, au contraire, qui marchent toujours par convois et sur des voies en fer, sont nécessairement chargés et déchargés à l'une des extrémités de ces voies ou sur le côté, l'atelier de chargement ou l'emplacement du remblai à exécuter ne devant pas être éloigné de la voie, et ils ne suivent que la route que leur tracent les rails.

Le tombereau, chargé dans la tranchée, est immédiatement remplacé par un tombereau vide, presque sans perte de temps; la manœuvre, au contraire, pour remplacer un convoi chargé ou même un wagon isolé, exige toujours plusieurs minutes.

Ces seules observations suffisent pour montrer combien l'organisation des grands chantiers de terrassement au wagon doit différer de celle des chantiers de terrassement au tombereau; nous allons

jeter un coup d'œil rapide sur l'organisation adoptée ordinairement.

Creusement des tranchées. — Les tranchées ouvertes au tomberneau sont attaquées en un grand nombre de points simultanément, au moyen d'excavations qui en occupent toute la largeur et d'où les tomberneaux extraient les terres par des rampes douces. Lorsqu'on veut employer les wagons, on commence presque toujours par faire, suivant l'axe ou le long des talus de la tranchée projetée, une petite tranchée auxiliaire nommée *goulet* (*gullet*) ou *cunette*, assez large pour donner passage à un wagon, et dont la profondeur varie avec les ondulations du sol. Il peut se présenter deux cas : ou la hauteur maxima de la tranchée définitive est peu considérable, 5 ou 6 mètres, par exemple ; ou bien elle est beaucoup plus

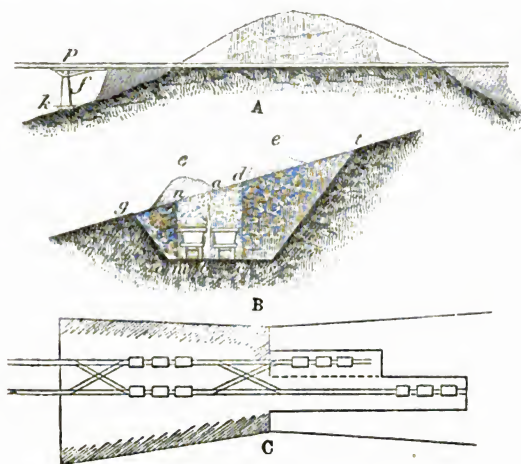


Fig. 11.

grande. Dans le premier cas, on donne à la cunette toute la profondeur de cette tranchée, en sorte que le fond de la cunette est aussi celui de la tranchée, comme nous l'avons indiqué fig. 11 B. Les parois, dans les terrains qui ne sont pas coulants, peuvent être ver-

ticals ou à peu près. Le fond doit avoir une pente descendante d'environ 5 millimètres vers son extrémité ouverte, pente qu'il faut toujours se donner, lors même que ce ne serait pas exactement celle de la tranchée définitive.

Les terres provenant du percement de la cunette *a b c d* sont extraites à la brouette ou au tombereau, ou bien elles sont relevées à la pelle, sur les bords le long desquels on les dépose, en *cavaliers, e et e'*.

La cunette étant ouverte sur une certaine longueur, on pose sur le fond une voie en fer que l'on prolonge jusqu'au point de déchargement sur le remblai. Cette voie, dans la cunette, a naturellement la pente du fond, c'est-à-dire 5 millimètres. Quant à la pente sur le remblai, elle dépend de la hauteur de ce remblai. Si cette hauteur n'est pas très-grande, comme nous l'avons supposé (fig. 11, A), on pose la voie sur la crête même du remblai en lui conservant la pente de 5 millimètres.

Des wagons roulant sur ce chemin de fer provisoire emmènent à l'extrémité du remblai, pour le prolonger, les terres composant les cavaliers, ainsi qu'une partie de celles que l'on abat en prolongeant la cunette, et qui peuvent se charger dans les wagons voisins de l'extrémité fermée.

Différents modes de déchargement. — Le déchargement s'opère de deux manières différentes. Chaque wagon, après s'être vidé à l'extrémité du remblai, passe dans une gare d'évitement pour faire place au wagon suivant, ou bien on le pousse en avant sur un pont en charpente *p* (fig. 11, A), que l'on appelle pont de décharge.

Déchargement à l'anglaise. — Dans le premier cas, le déchargement s'opère à l'anglaise de la manière suivante : à l'extrémité du remblai, les rails sont inclinés (fig. 12, A), et on y empile un certain nombre de traverses qui barrent le chemin. Quand un train arrive au remblai, il est reçu dans une voie de garage; on attelle alors un cheval à un des wagons au moyen d'une prolonge terminée par un crochet tel que le représente la figure 12, C, et combiné de manière qu'il se détache du wagon quand on tire la corde *a* (fig. 12, C). On fait partir le cheval au trot, et, arrivé près de l'ex-

trémité du talus, on détache la prolonge en tirant la corde *a*; le cheval se jette de côté hors de la voie, on lève en même temps le crochet qui fixe la caisse au train, et le wagon, brusquement arrêté par les traverses empilées, se porte en avant en vertu de la vitesse acquise; la caisse bascule et prend une inclinaison égale à celle que comporte la construction du véhicule, augmentée de l'inclinaison de la voie; les terres glissent et le déchargement se fait tout seul.

Quelquefois, afin d'augmenter l'inclinaison de la caisse au versement, on dispose à l'extrémité de la voie un gradin, comme l'indique la seconde figure 12, B.

Le déchargement se fait ainsi successivement pour chaque wagon.

En supposant en moyenne une distance de 150 mètres entre le garage et le déchargement, et admettant qu'un cheval au trot parcoure une distance de 5,000 mètres par heure, le temps employé

à l'aller et au retour sera de quatre minutes environ, et le déchargement proprement dit, consistant à relever le wagon et à redresser la caisse, étant d'environ une minute, le déchargement, y compris le transport d'un wagon, se fera en cinq minutes.

On est arrivé à décharger par cette méthode et avec une seule voie cent cinquante wagons par jour, mais c'est une exception. Avec un bon matériel et de l'ordre dans le chantier, on peut faire cent vingt wagons. En général, on ne doit compter que sur cent wagons par jour¹.

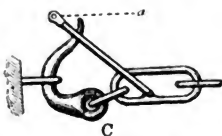
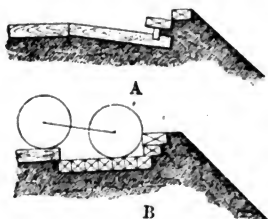


Fig. 12.

¹ Les balcines employées sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive gauche) ont coûté 4,500 fr. pièce. D'autres balcines à deux voies, dont on s'est servi sur le chemin d'Orléans à Vierzon, ont été payées 5,000 fr. Les petites balcines du chemin de Lille à la frontière belge étaient fort économiques. Elles ne sont pas revenues à plus de 500 fr., mais elles n'avaient que 6 mètres de hauteur. Ce n'est pas seulement l'installation de la baleine qui est coûteuse, c'est aussi l'entretien et surtout la manœuvre.

Quand les voies de déchargement sont multipliées, elles se gênent un peu réciproquement. Avec deux voies, on peut compter sur cent quatre-vingts wagons; avec trois voies, sur deux cent quarante wagons par jour.

Pont de décharge. — Le pont de décharge (fig. 15) est composé de deux longrines parallèles garnies de bandes de fer, qui font suite aux files de rails de la voie, et reposent, par une de leurs extrémités, sur le remblai, et, par l'autre, sur une ferme F. Cette ferme elle-même repose sur un chariot K, pouvant rouler sur un petit chemin de fer provisoire posé sur le sol au bas du remblai. Les terres se déchargent entre les deux longrines. Le pont doit pouvoir porter tout un convoi de wagons vides. Le déchargement de tout le convoi terminé, on ramène les wagons tous ensemble au point de déchargement.

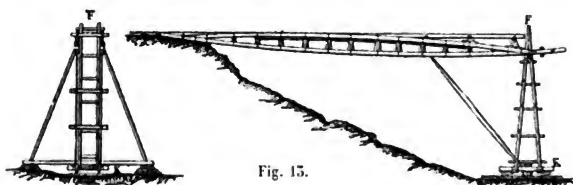


Fig. 15.

A mesure que le remblai se prolonge, on pousse le pont de décharge en avant en faisant rouler le chariot K, et on prolonge le petit chemin de fer qui porte ce chariot en détruisant la partie postérieure, qui est recouverte de terre. On déplace également, de temps en temps, les changements de voie, afin de faciliter les manœuvres.

Avec les ponts de décharge, nous avons déchargé, à la tranchée de Clamart, trois cents wagons en dix heures sur une voie, ce qui est le triple de la quantité déchargée moyennement en pareille circonstance par la méthode anglaise. Au chemin de Saint-Germain, on est également parvenu à décharger trois cents wagons en dix heures sur chaque pont. Sur les petites baleines employées au chemin de Lille à la frontière belge, on déchargeait vingt wagons par heure, soit deux cents wagons en dix heures sur une seule voie.

Le déchargement au moyen des ponts s'opère donc beaucoup plus rapidement que par la méthode anglaise, et il semble qu'il peut être employé avec avantage quand les terrassements doivent être exécutés dans un très-bref délai. Toutefois la grande dépense qu'il exige l'a fait presque généralement abandonner. On ne peut pas d'ailleurs faire usage de ces ponts de décharge pour des remblais de moins de trois mètres, surtout sur un terrain fortement accidenté, où il faudrait les déplacer sans cesse, ni pour des remblais dont la hauteur dépasse dix mètres. Nulle part sur la ligne de Mulhouse, où le cube des terrassements est considérable, bien que les entrepreneurs aient eu à exécuter d'immenses tranchées dans un bref délai, on n'en a fait usage. On a généralement préféré le déchargement à l'anglaise.

Suite du creusement. — Une partie des cavaliers étant enlevée et portée en remblai, on attaque à droite ou à gauche de la cuvette une nouvelle tranche $a b m n$ (fig. 11, B), dont les terres sont versées dans les wagons, et on pose une seconde voie provisoire. Ces deux voies étant réunies par des voies obliques dans les deux directions (fig. 11 C), le déchargement peut se faire en même temps aux deux extrémités, et l'une ou l'autre peut servir à garer les wagons vides. Deux convois sont placés en même temps devant les fronts de chargement. On les envoie successivement à la décharge, et les ouvriers chargeurs, afin de ne pas rester désœuvrés au moment du départ de l'un des convois, passent sur des planches d'un côté à l'autre du goulet pour charger l'autre convoi.

Quand la tranche $a b m n$ est enlevée sur une certaine longueur, on abat les massifs trapézoïdaux $g o m n$ et $d c s t$, de manière à compléter le percement de la tranchée sur toute sa largeur, et les terres provenant de ces massifs sont chargées dans les wagons circulant sur les deux voix provisoires posées dès l'origine, au moyen de brouettes, ou dans des wagons roulant sur de nouvelles voies auxiliaires posées latéralement. On trouve ordinairement plus économique d'employer les brouettes.

Un certain nombre de wagons versent leur contenu *par bout* et servent à former le *noyau* du remblai ; les autres versent *de côté* et sont employés à élargir ce noyau.

La reprise des cavaliers étant toujours une opération coûteuse, et le dépôt des terres en dehors de la crête des talus donnant lieu aussi, dans certains cas, à des dépenses considérables, on n'a recours au retroussement des terres, pour la totalité ou pour une partie de la cunette, que si l'on est très-pressé. Dans le cas contraire, on perce la cunette en l'attaquant seulement à l'extrémité. On établit alors des gradins à cette extrémité, et les terres sont chargées directement dans les wagons ou dans des wagonnets, soit *par bout*, soit par le côté. Quelquefois aussi on retrousse une partie seulement des terres de la cunette, et on charge l'autre partie directement dans les wagons ou dans les wagonnets.

Les parois des cunettes dans le roc vif et dans certains terrains résistants se maintiennent pendant plusieurs mois sous un angle droit ou au moins sous un angle qui se rapproche beaucoup de l'angle droit. Dans d'autres terrains, elles tendent à prendre une inclinaison plus prononcée, mais cette inclinaison, sous laquelle les terres ne doivent se soutenir que pendant un espace de temps assez limité, est toujours inférieure à celle que l'on donne aux talus de la tranchée et qu'ils doivent conserver indéfiniment.

Dans les tranchées glaiseuses, il ne faut pas attendre que la cunette ait été ouverte sur une grande longueur pour abattre les massifs latéraux et découvrir les talus définitifs, qui doivent toujours, dans ce cas, être asséchés. L'*assainissement* des talus doit suivre de près le percement de la cunette.

Quelquefois, même au chemin de Mulhouse, en pareille circonstance (tranchées de la Chaume, du Chiffard et de Montesson), M. l'ingénieur Masson a supprimé la cunette, et procédé par voie de *décapage*, c'est-à-dire en découpant le déblai par tranches variables à partir du sol naturel, de façon à atteindre successivement les divers bancs argileux et dressant le talus suivant l'approfondissement du déblai. Les assainissements se font ainsi graduellement, et l'on arrive à fond de tranchée avec des drainages complets et des talus à peu près définitifs¹.

¹ L'opération du décapage n'exclut pas les cunettes d'une manière absolue. Il est même essentiel qu'il y ait deux étages pour le chargement des wagons au moyen des brouettes, mais le niveau des voies de l'étage inférieur doit rester subordonné à la

Si la tranchée est très-profonde et que le remblai ait une grande hauteur, on ne donne à la cunette *a b d e* (fig. 14, A) qu'une partie de la hauteur de la tranchée. On descend les terres de la hauteur du goulet jusqu'à la crête du remblai sur une voie inclinée

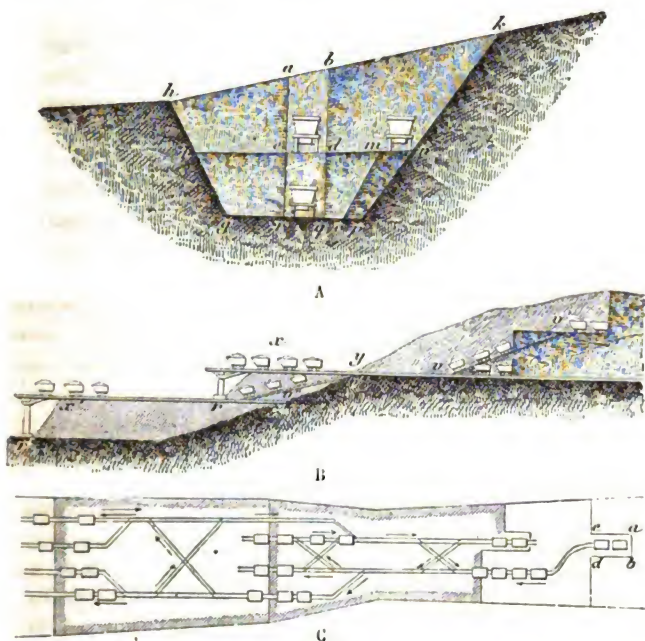


Fig. 14.

reposant sur un massif le long de l'un des talus *v v'* (fig. 14, B). Comme le remblai a souvent une grande hauteur, on le monte en deux assises. Une partie des terres servant à composer l'assise supérieure *x y z* est portée à l'extrémité de cette assise sur une voie

position des bancs à assainir comme à la profondeur de la première tranchée attaquée. La plate-forme de celle-ci doit rester un peu au-dessus des bancs agileux, et être assainie provisoirement par plusieurs rigoles couvertes, afin qu'aucun glissement ne s'opère dans la cunette des wagons. (Note de M. Masson.)

1° Éviter que le bord supérieur de la caisse se trouve à plus de 1^m,60 au-dessus des rails, afin que les ouvriers puissent le charger à la pelle sans trop d'efforts ;

2° Faire en sorte que les caisses versent sous un angle assez grand pour que les terres glaises humides puissent couler facilement sur le fond lorsque la caisse est renversée ;

3° Répartir autant que possible le poids également sur les quatre roues ;

4° Répartir le poids de la caisse chargée, à droite et à gauche de l'axe de bascule, de manière qu'il soit un peu moins considérable du côté de la porte que de l'autre ;

5° Conserver aux roues un diamètre assez grand pour qu'elles puissent passer facilement par-dessus les pierrailles et les autres obstacles qui souvent obstruent la voie, et qu'il ne soit pas trop difficile de les mettre en mouvement ;

6° Faire en sorte que la terre soit lancée, au moment du renversement de la caisse, à une certaine distance du wagon.

C'est afin de remplir cet ensemble de conditions que l'on a imaginé le wagon représenté figure 16, dans lequel l'angle de chute

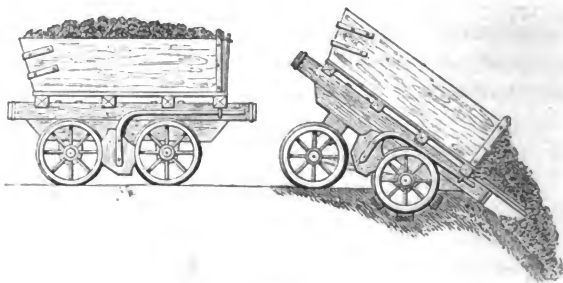


Fig. 16.

est augmenté par une espèce d'ornière artificielle dans laquelle tombent les roues d'avant du wagon à décharger.

Emploi des brouettes en Angleterre. — Lorsque les terres des massifs latéraux à la cunette sont transportées dans les wagons au moyen de brouettes, il est très-important d'employer les brouettes

tes généralement en usage en Angleterre et représentées figure 17. Elles se déchargent beaucoup plus facilement dans les wagons que les brouettes françaises.

On se sert aussi de brouettes pour charrier les terres déposées sur les bords des tranchées. Les Anglais emploient en pareil cas un mécanisme fort ingénieux afin de diminuer la fatigue de l'ouvrier qui est obligé de monter la charge sur la rampe souvent très-inclinée des talus.

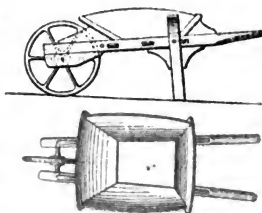


Fig. 17. — Brouettes.

Ce mécanisme est représenté figure 18.

L'ensemble d'un appareil se compose de deux planchers, à la partie supérieure desquels sont fixés deux poteaux. Chacun de ces poteaux est muni de deux poulies : l'une au sommet, perpendiculaire à l'axe du chemin ; l'autre dans le bas, parallèle à cet axe. C'est la même corde qui, après avoir passé par les poulies des poteaux, s'attache, d'une part, à une brouette pleine, et, de l'autre, à une brouette vide. Cette corde, fixée à la brouette pleine, passe d'abord sur l'une des poulies placées dans le haut du poteau correspondant, descend verticalement le long de ce poteau, puis est renvoyée horizontalement par la poulie inférieure ; de là elle se dirige parallèlement à la crête de la tranchée, monte, après avoir passé sur une troisième poulie, le long du second poteau, et enfin, après avoir passé sur la poulie supérieure de ce second poteau, se développe sur un second plancher incliné, et va s'attacher à une brouette vide. Des chevaux, marchant d'un poteau vers l'autre en tirant la corde horizontalement tantôt de droite à gauche, tantôt de gauche à droite, font monter la brouette pleine successivement sur l'un ou l'autre des deux planchers voisins. Un homme sert à la conduire de l'atelier jusqu'au bas du plancher, à la guider sur le plancher, à la vider lorsqu'elle est arrivée au sommet, et à la ramener. Lorsqu'il gravit le plancher, il est trainé avec la brouette par les chevaux ; lorsqu'au contraire il descend avec la brouette vide, il aide les chevaux de son poids et de l'action qu'il peut exercer sur cette

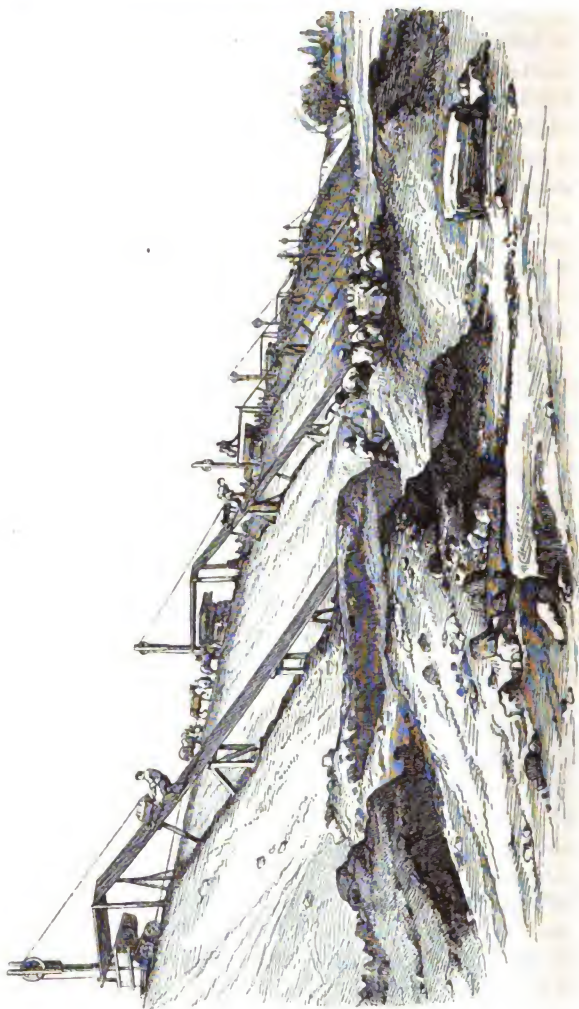


Fig. 18 — chantiers de terrassement, anglais.

brouette. On n'a, à notre connaissance, adopté cette organisation de chantiers sur aucun chemin de fer français.

Wagonnets. — Indépendamment des brouettes, des tombereaux et des wagons de différentes dimensions, on se sert beaucoup aujourd'hui des wagonnets représentés figures 19. Ces wagonnets, dans beaucoup de cas, remplacent avantageusement les tombereaux, et opèrent des transports à des prix sensiblement équivalents.

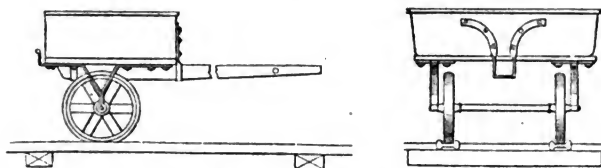


Fig. 19. — Wagonnets.

Dans certaines circonstances, sur des pentes qui s'élèvent jusqu'à 4 centimètres, et quand les distances commencent à être trop grandes pour des brouettes, ils rendent de grands services et permettent de réaliser une économie notable.

Ces petits véhicules, qui pèsent moyennement 115 kilogrammes, ont composés d'une caisse, d'un châssis auquel est adaptée une flèche et d'une paire de roues en fonte. La contenance de ces wagonnets est d'environ 0^m,28 cubes ; mais, eu égard au foisonnement, ils ne contiennent guère que 0^m,16 à 0^m,22 mesurés au déblai, suivant la nature du terrain.

On trouvera plus loin, au chapitre du matériel, de nouveaux détails sur les wagons de terrassement.

Influence de la distance sur la nature des moteurs. — On sait que la nature des véhicules et des moteurs employés pour le transport des terres varie suivant les circonstances. Pour de faibles distances, on se sert exclusivement de brouettes ; pour une distance plus considérable, on trouve avantageux d'y substituer le tombereau attelé d'un seul cheval.

Si la distance augmente encore, le tombereau à deux chevaux remplace celui à un cheval ; puis viennent les wagons trainés par

des chevaux ; puis enfin les wagons trainés par des locomotives. Le transport au wagon, qu'il soit fait par des chevaux ou par des machines locomotives, ne devient avantageux qu'autant que le cube à enlever atteint un certain chiffre.

Il était donc curieux de savoir dans quels cas il convenait d'employer les brouettes, les tombereaux, les wagons trainés par des chevaux, et enfin les wagons trainés par des locomotives.

M. Brabant, l'un de nos plus habiles conducteurs des ponts et chaussées, qui a dirigé de grands travaux de terrassement, successivement, au chemin de fer de Versailles (rive gauche), de Lille à la frontière belge, et d'Orléans à Bordeaux, et qui, aujourd'hui, remplit les fonctions d'ingénieur chef d'arrondissement sur les chemins de fer de l'Est, s'est livré à de curieuses recherches, dont il a exposé les résultats dans un Mémoire inédit qu'il a bien voulu nous communiquer. Les paragraphes suivants sont extraits de ce Mémoire.

Les transports par les moyens ordinaires, la brouette et le tombereau, n'exigeant que des frais d'établissement peu élevés et qu'un matériel susceptible d'être employé sur tous les chantiers et même pour les usages les plus divers, il en résulte que les prix à appliquer sont toujours sensiblement les mêmes, quelles que soient les quantités à transporter.

Il n'en est pas de même pour les transports en wagon sur voies provisoires, parce qu'ils exigent des frais d'établissement considérables, qui sont bien loin de croître dans le rapport du volume transporté, et dans lesquels on ne peut rentrer qu'avec des cubes d'une certaine importance.

Il suit de là que, plus les volumes à transporter sont faibles, plus les prix de transport sont élevés, et que, par suite, à moins d'avoir un matériel sur place, les transports par voies provisoires cessent d'être praticables pour des cubes qui n'atteignent pas au moins 25,000 mètres.

D'un autre côté, il y a, avec les transports au wagon, à la charge et à la décharge, des frais de remaniement et diverses mains-d'œuvre qui n'existent pas pour les autres modes de transport, et qui s'élèvent de 20 à 25 centimes par mètre cube. A cette

dépense il faut ajouter celle des wagons, des changements de voies, et quelquefois d'autres appareils dont on a besoin sur les points de chargement et de déchargement. Tous ces frais étant indépendants des distances parcourues, il s'ensuit que, pour de faibles distances, les transports au wagon coûtent plus que ceux au tombeau.

Les distances minima, variables suivant les volumes à transporter, peuvent descendre pour des cubes de 25,000 mètres à 500 mètres, et pour des cubes de 100,000 mètres à 300 mètres.

Quoi qu'il en soit, il arrive souvent que, les transports au tombeau étant impraticables, soit à cause de la nature ou de la position du sol, soit à cause de la saison, on est conduit à avoir recours au transport au wagon pour des volumes et pour des distances fort au-dessous de celles qui sont indiquées ci-dessus comme un minimum.

Il suit de la multiplicité des éléments qui doivent entrer dans le calcul des transports au wagon, dans différents cas, et de la complexité de quelques-uns, que les formules ne peuvent être rigoureusement établies que pour des cas spéciaux et qu'après une estimation préalable des frais de toute espèce, et notamment de ceux de matériel, pose de voies, dépose et repose, etc.

Aussi les formules employées par plusieurs ingénieurs placés dans des conditions diverses ne sont-elles pas exactement semblables. Néanmoins les différences ne sont pas tellement grandes, que M. Brabant n'ait jugé utile de prendre la moyenne des résultats que lui ont fournis trois de ces formules, pour déterminer, au moins par approximation, les cubes et les distances moyennes pour lesquels les différents modes de transport deviennent avantageux.

Le tableau suivant est extrait d'un tableau beaucoup plus complet qu'il a donné.

DÉPENSE POUR LE TRANSPORT D'UN MÈTRE CUBE DE TERRE OU DE BALLAST, PESANT ENVIRON 1,000 KILOGRAMMES.

A UNE DISTANCE DE	A LA BROUETTE.	SUR TERRAIN NATUREL.		SUR VOIES PROVISOIRES.		SUR VOIES DÉFINITIVES.	
		au CAMION	au TOMBREAU	AU WAGON		CUBE DE 20 000 ^m au wagon traîné par des locomotives.	
		traîné par des hommes.	traîné par des chevaux.	traîné par des chevaux au pas.	traîné par des locomotives, vitesse de 12 kilomètres à l'heure.	Tout compris.	Dépense des voies non comprise.
		m.					
50	0,225	0,225	»	»	»	»	»
100	0,450	0,350	0,420	0,515	0,596	0,460	0,455
140	0,630	0,450	0,468	0,563	0,610	0,464	0,457
160	0,720	0,500	0,492	0,572	0,618	0,466	0,456
200	0,900	0,600	0,540	0,590	0,632	0,471	0,460
300	»	0,850	0,660	0,635	0,668	0,480	0,465
500	»	1,350	0,900	0,725	0,740	0,500	0,475
800	»	2,100	1,260	0,860	0,848	0,530	0,490
1,000	»	2,600	1,500	0,950	0,920	0,550	0,500

Il résulte de ce tableau :

1° Qu'à la distance de 100 mètres le camion traîné par des hommes est préférable à la brouette, et qu'il commence à le devenir dès qu'on dépasse la distance de 50 mètres.

2° Que les tombereaux traînés par des chevaux deviennent préférables aux camions traînés par des hommes à la distance de 160 mètres seulement. A cette même distance, la locomotive elle-même, sur voies définitives, devient préférable au tombereau, pourvu toutefois que le cube à enlever soit de 20,000 mètres au moins.

3° Qu'à une distance de 500 mètres, le cube à enlever étant d'au moins 10,000 mètres, l'usage des wagons traînés par des chevaux sur voies provisoires devient plus économique que celui des tombereaux.

4° Que la locomotive sur voies provisoires ne doit remplacer les chevaux qu'à la distance de 600 à 700 mètres.

UNIV. OF
CALIFORNIA



Long bridge over Paris

— *Travaux en cours de construction de l'éclairage*
à Paris, au sujet de l'éclairage à l'électricité
Paris 1888

Fig. 194 et 195

Les calculs de M. Brabant ont été faits dans la supposition de wagons portant 2 mètres cubes, et du prix de 12 fr. pour tombeau attelé de deux chevaux; le temps perdu à la charge et à la décharge étant de quinze minutes, et les deux chevaux pouvant trainer 0,6666... en parcourant 30,000 mètres par jour.

Nous donnons aux documents les formules de M. Brabant, accompagnées de renseignements fort intéressants sur l'usure des rails employés pour les terrassements.

Les limites indiquées plus haut n'ont rien de bien absolu, parce que les circonstances, et notamment les frais d'établissement résultant de l'adoption d'un mode de transport quelconque, obligent à ne faire, sous ce rapport, que le moins de changements possible.

C'est ainsi que, lorsqu'on veut faire usage des locomotives pour des transports à grande distance, on commence souvent à s'en servir à de très-faibles distances, auxquelles leur emploi est onéreux, parce qu'il serait encore plus onéreux de monter un service de chevaux qu'il faudrait faire disparaître très-peu de temps après.

En général, pour obtenir un minimum dans les dépenses, il faut, quand les modes de transport offrent de l'incertitude sous le rapport des dépenses, ne les entreprendre qu'après s'être éclairé au moyen d'estimations différentes, toutes suivant les modes de transport jugés les plus économiques.

Les plus grandes tranchées connues sont : la tranchée de Tring sur le chemin de Birmingham, cubant 1,100,000 mètres; celle de Gadelbach sur le chemin d'Ulm à Augsburg, cubant 1,000,000 de mètres; celle de Tabatsofen, qui a fourni 860,000 mètres cubes de déblai; la tranchée de Cowran, sur le chemin de Carlisle, dont on a extrait 700,000 mètres cubes; celle de Blisworth, sur le chemin de Birmingham, cubant 620,000 mètres; celle de Poincy, au chemin de Strasbourg, cubant 500,000 mètres, celle de Pont-sur-Yonne, au chemin de Lyon, cubant 470,000 mètres; et la tranchée de Clamart, sur le chemin de Versailles (rive gauche), dont le cube était de 400,000 mètres environ.

Tranchée de Clamart. — La figure 20 représente une coupe des travaux de la tranchée de Clamart. Après avoir percé le goulet A en retroussant les terres, on a enlevé les terres en B et C sur une

certaine longueur, puis on a ouvert le goulet D et enlevé les terres en F et en E. Le remblai a été fait en deux assises; on a descendu les terres de A, B et C au niveau supérieur du remblai au moyen d'un plan automoteur établi dans la tranchée, et du niveau supérieur du remblai à celui de la tranchée au moyen d'un second plan automoteur placé sur le remblai. On est parvenu à enlever, par une seule extrémité de cette tranchée, à transporter à près d'une demi-lieue de distance et à décharger en remblai, près de 1,400 mètres cubes pendant les grands jours d'été.

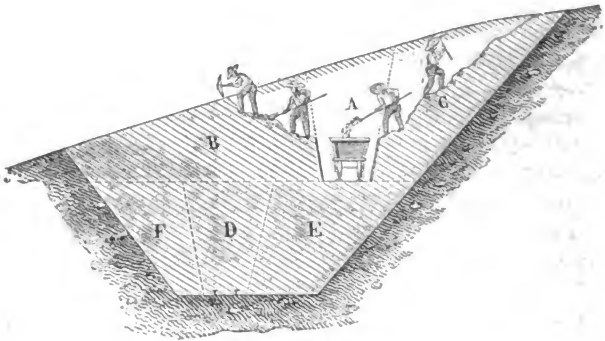


Fig. 20.

Il est très-rare que l'on extraie un pareil cube par une seule extrémité, et l'on n'a atteint ce chiffre à la tranchée de Clamart qu'en employant des moyens excessivement coûteux; on trouvera dans les documents du *Portefeuille* le cube moyen fait dans les tranchées du chemin de Mulhouse, avec le nombre de points de décharge.

En général, on ne dépasse guère la moyenne de 800 mètres cubes par jour, en sorte qu'une tranchée cubant 400,000 mètres et pouvant être attaquée en même temps aux deux extrémités n'exigerait pas plus d'une campagne pour son complet achèvement, même sans effectuer de dépôts, tandis que les travaux pour ouvrir la seconde et la troisième des tranchées dont nous venons de parler ont duré plusieurs années.

Tranchée de Pont-sur-Yonne. — La figure 21 représente le

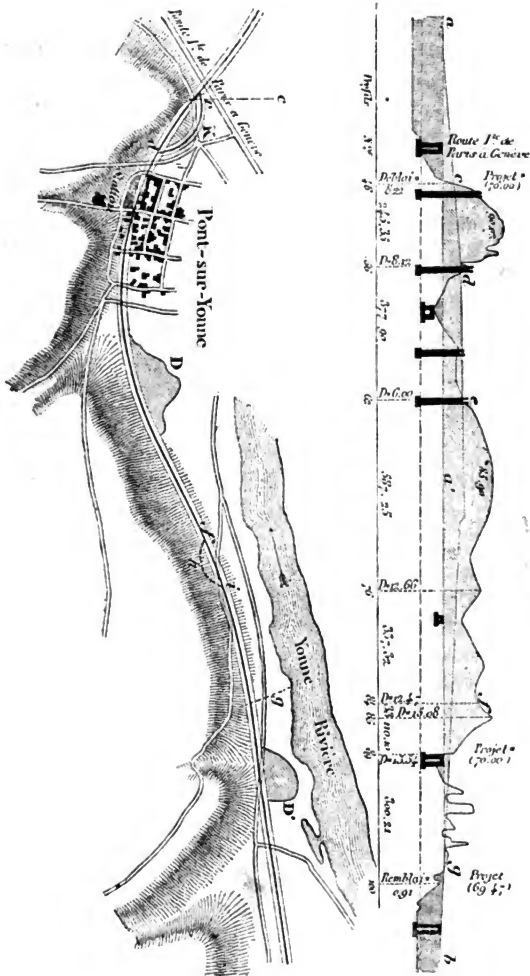


Fig. 21. — Tranchée de Pont-sur-Yonne.

profil en long et le plan du terrain dans lequel la tranchée de Pont-sur-Yonne a été ouverte en quatre cent quatre-vingts jours par MM. Parent et Shaken. La ligne *a, a' b*, est le profil du chemin. La profondeur maxima de la tranchée était de 20 mètres, les travaux ont été exécutés sur deux étages. L'étage supérieur des déblais est indiqué dans le profil par des hachures horizontales; l'étage inférieur par des hachures inclinées. Afin de pouvoir transporter les déblais provenant de l'étage supérieur entre les profils 62 et 76 sur le remblai de gauche (hachures verticales), il fallut élever un remblai provisoire de 8,000 mètres cubes entre les profils 56 et 62. La tranchée a été attaquée à la fois en cinq points différents, *c d e f* et *g*. Les terres extraites ont donc d'abord servi à former le remblai auxiliaire, puis l'excédant a été porté sur le remblai d'aval *a* par un chemin de fer *d K r* que l'on a établi en grande partie dans les anciens fossés de la ville, qui suivaient cette direction et qu'il a suffi d'agrandir. Les terres extraites en *c* et en *e* ont été directement emmenées sur le remblai *a*; néanmoins une partie des terres provenant du chantier *e* a été retroussée à la brouette en D.

Les terres extraites en *f* et en *g* ont été portées sur le remblai d'amont *b*, celles du chantier *g* en suivant l'axe du chemin, celles du chantier *f* en passant par un chemin de fer *f h i*, établi sur le flanc du coteau à gauche du chemin, entre les profils 85 et 89 et dans un petit souterrain auxiliaire de 45 mètres de longueur (entre les profils 84 et 85), et reliant l'axe du chemin avec la tranchée auxiliaire des profils 85 et 89.

Le remblai *a* a été exécuté en deux assises, afin qu'il conservât assez de largeur à la crête pour recevoir quatre voies nécessaires au déchargement des déblais provenant des chantiers *c d* et *e*. Le remblai *b*, par contre, ne recevant que les terres des deux chantiers *f* et *g*, a pu être élevé en une seule couche; néanmoins il a fallu porter une partie des terres en dépôt D'. Ce dépôt a été exécuté au wagon.

Le cube maximum de terre fouillée et enlevée a été de 2,850 mètres en un jour; la distance moyenne de transport était de 1,800 mètres, la distance maxima de 5,500 mètres.

Tranchée du Dockenberg. — La tranchée du Dockenberg au

chemin de Mulhouse est curieuse en ce qu'un cube considérable, déposé dans le haut de la tranchée, a été transporté sur des voies

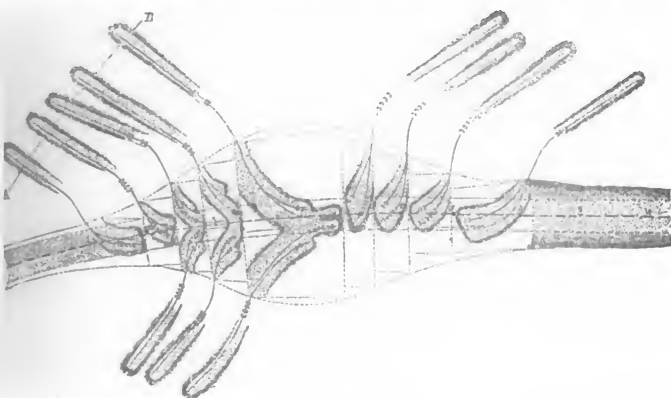


Fig. 22.

spéciales dans des wagonnets à quatre roues, l'attaque ayant lieu sur quatorze points différents. La figure 22 représente la disposition du chantier.

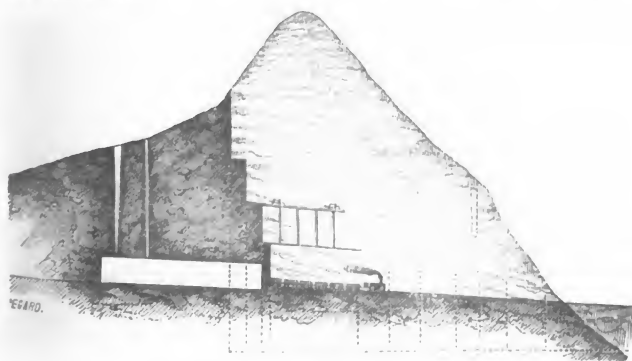


Fig. 25.

Tranchée de Charmoille. — A la tranchée de Charmoille (chemin de Mulhouse), le terrain étant très-abrupt du côté de Mulhouse,

ainsi que l'indique la figure 25, il n'eût pas été possible d'établir des voies de transport à deux étages différents. La voie de l'étage supérieur, en la supposant à une hauteur raisonnable au-dessus de l'étage inférieur, eût été forcément posée avec une inclinaison beaucoup trop forte.

Voulant toutefois opérer avec une certaine rapidité, on a percé, comme l'indique la figure, un puits et une galerie. La galerie a été poussée du côté de Mulhouse jusqu'au jour. Les déblais provenant de la partie supérieure de la tranchée, jetés dans le puits, tombaient dans un wagon placé au fond, ce puits faisant ainsi office de trémie ou d'entonnoir; les wagons marchaient vers le point de décharge en suivant la galerie.

Tranchée sur le chemin d'Arlon. — Au chemin de Namur à Arlon, MM. Währing, entrepreneurs anglais, pour ouvrir une tranchée dans un terrain schisteux, ont percé d'abord une galerie au niveau du sol de la tranchée; puis, de distance en distance, ils ont ouvert des puits descendant jusqu'à la galerie. Ils ont placé dans la galerie des wagons de terrassement au-dessous des puits, et enfin, attaquant les parois des puits, auxquels ils donnaient la forme d'entonnoir, ils en ont fait tomber les débris dans les wagons. Ils sont ainsi parvenus à enlever toutes les terres formant le cube de la tranchée, à l'exception de petits massifs restant sur le talus, que l'on a plus tard détachés facilement. Cette méthode est expéditive, mais ne peut s'appliquer que dans certaines natures de terrain.

Tranchée sur le chemin de Coulommiers. — La même méthode a été appliquée à plusieurs tranchées du chemin de Coulommiers. Voici une note que nous tenons de l'obligeance de M. Pluyette, ingénieur de ce chemin, sur cette méthode.

« Lorsqu'une tranchée présente plus de cinq à six mètres de profondeur, il est avantageux, pour les terrains faciles à désagrégier, d'exécuter les terrassements de la manière suivante :

« On pratique dans l'axe de la tranchée une galerie boisée où les wagons puissent s'engager sur une voie de fer. La section de la galerie est d'environ seize mètres carrés. Le boisage se compose de cadres, placés de mètre en mètre, supportant des madriers qui forment le ciel de la galerie. Chaque cadre se compose d'une traverse

supérieure, supportant les madriers, et de deux montants légèrement inclinés, de manière que la galerie présente plus de largeur dans le bas que dans le haut, pour la circulation des ouvriers et des chevaux le long de la voie. Une voie de fer, disposée comme à l'ordinaire, est placée dans la galerie pour la circulation des wagons.

« Lorsque la galerie a vingt mètres de longueur, on creuse dans l'axe de la tranchée un puits qui va du sol naturel au milieu de la galerie, dont on enlève le ciel à cette place. Lorsque le puits est creusé, on l'élargit par le haut en lui donnant la forme d'un entonnoir. Les terres tombent au fond du puits et sont reçues dans les wagons disposés à cet effet au-dessous. Le déblai s'opère en élargissant graduellement l'entonnoir, qui finit par être un cône renversé dont les côtés ont une inclinaison à peu près égale à 45 degrés.

« Les puits sont placés à environ vingt mètres l'un de l'autre; leur position varie d'ailleurs suivant la profondeur de la tranchée, de manière qu'il n'y ait pas de lacune entre deux puits.

« La galerie est toujours en avance sur les entonnoirs en cours d'exécution, et les wagons dans lesquels sont chargées les terres provenant de la galerie sont accrochés à ceux qui reçoivent les terres des entonnoirs; tous ces wagons sont réunis en rames pour le transport et remplacés par d'autres.

« Le déblai, dans les entonnoirs, est opéré par dégradation des talus, et non par piochage; il n'est pas employé de pelles pour charger; la dégradation des talus s'opère à la pelle dans les terrains très-meubles, comme le sable, et avec la pioche dans les autres terrains.

« Les ouvriers sont placés à plusieurs étages dans l'entonnoir sur les talus; il résulte de cette opération un mélange intime et souvent avantageux des diverses couches de terrains, et aussi la réduction des déblais en petites parties ténues, au lieu des grosses mottes que présente le mode ordinaire de déblai par la pioche.

« Le forage de la galerie et des puits coûte plus cher que le déblai ordinaire; mais, lorsqu'il s'agit d'une tranchée importante et surtout profonde, la dépense qui en résulte s'applique à un volume qui n'est qu'une fraction très-petite du volume total. La plus grande

partie du déblai de la tranchée est extraite par la seule opération de la dégradation des talus, qui est évidemment moins coûteuse que la fouille avec la pioche ou le pic, la charge à la pelle et le roulage en brouette des terres que l'on ne peut charger directement.

« Ce procédé n'est évidemment applicable qu'aux tranchées qui présentent à la fois beaucoup de volume et de profondeur et une très-faible proportion de roches à extraire à la mine. »

Inclinaison des talus. — Les talus des tranchées se soutiennent sous des angles qui varient suivant la nature du terrain ¹. On en diminue l'inclinaison soit en les recouvrant de couches gazonnées ou de murs en pierres sèches (perrés), soit en les soutenant par des murs en maçonnerie. Les murs en maçonnerie ne sont guère employés qu'à la traversée des villes, où le terrain est très-côteux.

Revêtements. — Les revêtements en terre végétale ne tiennent généralement pas, lorsque l'inclinaison des talus est de 45° degrés ou au delà. Si le terrain vierge mis ainsi à découvert est susceptible par lui-même de recevoir un semis ou des plantations d'acacias, il faut le défendre contre les intempéries par ce moyen. S'il n'est pas susceptible d'alimenter la végétation et que les intempéries provoquent des éboulements, il faut le recouper à une inclinaison de $5/4$ ou de $4/3$, suivant sa nature, le recouvrir d'un revêtement en terre végétale et l'ensemencer. Si le terrain vierge est un peu humide, sans cependant présenter des masses glaiseuses susceptibles d'éboulements graves et ne motive par conséquent pas un système de consolidation au moyen de drainages, il faut, après avoir réglé le talus, le recouvrir d'abord d'une couche perméable de sable, puis d'un revêtement en terre végétale.

Mais ce mode de revêtement ne peut réussir, comme nous l'avons dit, que sur un talus d'une inclinaison de $5/4$ au moins. C'est le talus le plus roide sous lequel les parcelles meubles reposant à sa surface ne glissent pas sous l'action de la pesanteur.

Si les emprises ne permettent pas d'adoucir suffisamment le talus et s'il est trop coûteux de les étendre par une acquisition supplé-

¹ Les angles pour les différentes natures de terrains sont indiqués dans l'ouvrage de M. Minard, intitulé : *Sur les ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux*.

et s'il est trop coûteux de les étendre par une acquisition supplémentaire, il faut, si ce talus trop incliné vient à s'ébouler, recouper le terrain vierge par gradins, puis reformer le talus en avant par couches horizontales bien pilonnées, composées de bonne terre végétale, légère et suffisamment perméable. Il faut, en outre, intercaler entre cette terre végétale et le terrain vierge une couche de gravier formant un filtre général. Il faut que toutes les eaux de ce filtre soient recueillies à la base par un drain convenablement établi et versant ses eaux sur un point apparent facile à surveiller.

Ce mode de consolidation ne doit du reste s'appliquer que lorsqu'il s'agit de petits éboulements très-peu importants et donnant lieu à de faibles mouvements de terres. Dès que les éboulements prennent un peu d'importance, il faut appliquer un des systèmes de drainage que nous ferons connaître plus loin.

Dans quelques terrains ébouleux, les talus ne se soutiennent sous aucun angle, et, si on ne prend certaines précautions, ils s'éboulent inopinément et recouvrent les voies. Cet accident est un des plus graves que présente la construction des chemins de fer. Il est à redouter surtout dans les terrains qui renferment des couches glaiseuses intercalées dans des couches perméables. Dans ces circonstances, l'eau qui traverse les terrains perméables forme une nappe au-dessus de la glaise imperméable, et la surface mouillée devient lisse et savonneuse. Si cette surface est fortement inclinée, les terres du talus d'amont glissent. Le mouvement, une fois commencé, s'étend à de très-grandes distances, et l'on est souvent obligé d'abandonner le tracé et de changer la direction du chemin : c'est ce qui est arrivé au chemin d'Orléans pour la tranchée d'Ablon, et au chemin de Strasbourg pour celles de Voussy et de Champigneulle.

Le banc de glaise lui-même, comme nous le verrons plus loin, s'éboule souvent sans qu'il y ait eu glissement du banc supérieur.

Assainissement de la surface. — Nous traiterons des différents procédés employés pour s'opposer aux éboulements dans les terrains glaiseux. Mais, avant de dire par quels moyens on détourne les eaux souterraines, causes habituelles de ces éboulements, il

convient d'indiquer comment on assure le libre écoulement des eaux de surface, qui dégradent aussi le talus.

Les drains souterrains, très-utiles pour assurer l'écoulement des eaux souterraines, ne peuvent servir à détourner les eaux de surface. On doit au contraire empêcher avec le plus grand soin les eaux de surface de pénétrer dans les drains.

Les eaux qui affluent vers la crête des talus des tranchées doivent être recueillies dans des fossés à ciel ouvert couronnant la crête des talus des tranchées et dégageant leurs eaux, soit aux extrémités des tranchées, soit au moyen de caniveaux perreyés qui déversent les eaux dans le fossé de la tranchée. Mais ce dernier mode, qui a pour effet d'augmenter les eaux du fossé inférieur, ne doit être appliqué que lorsqu'on ne peut pas faire autrement et lorsque le fossé inférieur a été disposé pour les recevoir.

M. Ledru, ingénieur en chef de l'entretien au chemin de fer de l'Est, s'exprime dans les termes suivants sur l'utilité des perrés comme moyen de conservation des talus : « Les revêtements superficiels ou perrés, qui coûtent fort cher, n'ont généralement qu'une utilité fort restreinte, et même, lorsqu'ils reposent tout simplement sur le terrain naturel, sans aucun moyen d'assèchement intérieur, ils sont plus dangereux qu'utiles, parce qu'ils retiennent les eaux dans les joints, et que ces eaux vont détremper le terrain sur lequel ils reposent. *Ces revêtements en perrés sont presque toujours avantageusement remplacés par des revêtements en bonne terre végétale gazonnée*, avec rigoles superficielles convenablement disposées pour l'écoulement des eaux. Si toutefois on emploie des perrés, ils doivent reposer sur un lit de pierrailles assis sur un talus bien dressé, et dont les eaux ont un moyen d'écoulement assuré. Le revêtement des fossés en perré au fond des grandes tranchées ne doit être regardé que comme un moyen de faciliter l'entretien de ces fossés ; mais ils n'ont réellement qu'une action insignifiante comme consolidation. »

Les fossés établis le long de la crête des talus d'amont pour intercepter les eaux qui affluent du coteau, s'ils n'étaient parfaitement entretenus et si on ne donnait écoulement aux eaux par le chemin le plus court, ces eaux, en effet, s'écoulant par la moindre

fissure dans le sol sur le talus, en provoqueraient l'éboulement. Cet effet se produirait surtout si, par une cause quelconque, le fossé se trouvait obstrué.

Nous avons parlé plus haut des dimensions à donner aux fossés et aux banquettes qui se trouvent dans le bas des talus, et critiqué l'ancien usage d'établir des banquettes à différentes hauteurs sur le talus.

Ces banquettes sont coûteuses d'établissement, coûteuses d'entretien, et souvent elles s'éboulent. Quelques ingénieurs toutefois continuent à en faire usage. Nous verrons plus loin que M. Bruère en recommande l'emploi dans certains cas.

Assèchement des tranchées. — Nous allons maintenant exposer les différents procédés employés pour combattre les effets des eaux souterraines ou des intempéries de l'air sur les grands talus.

Revêtements en pierres sèches. — Le mur en pierres sèches (fig. 24) soutient le talus tout en laissant filtrer les eaux qui des-

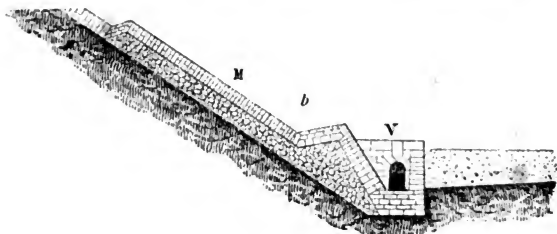


Fig. 24.

centent vers le fossé. Il s'appuie sur la banquette *b*, et de distance en distance le pied du talus est consolidé par de petites voûtes *V*. Ce procédé a été appliqué à une tranchée du chemin de Versailles (gauche).

Filtre général. — Dans d'autres tranchées du même chemin, après avoir construit en pierres sèches la cuvette du fossé de la voie et réglé le talus suivant une inclinaison de 1^m,50 de base sur 1 mètre de hauteur, on enleva une tranche de 2 mètres d'épaisseur dans le sol du talus, on étendit sur toute la hauteur des glaises

une couche de pierres de 0^m,20 d'épaisseur en moyenne, aboutissant aux perrés du fossé; puis enfin on recouvre cette couche de pierres d'un corroi en glaise pilonné de 0^m,40 d'épaisseur et d'une dernière couche de terre de bonne qualité pilonnée. Les eaux filtrant au travers de la couche de pierres concassées délayèrent le corroi en glaise, et le talus s'éboula.

Au chemin de Mulhouse on a employé le même procédé avec succès en donnant une plus grande épaisseur à la couche de pierres concassées.

Murs de soutènement. — Au chemin de Strasbourg, dans une

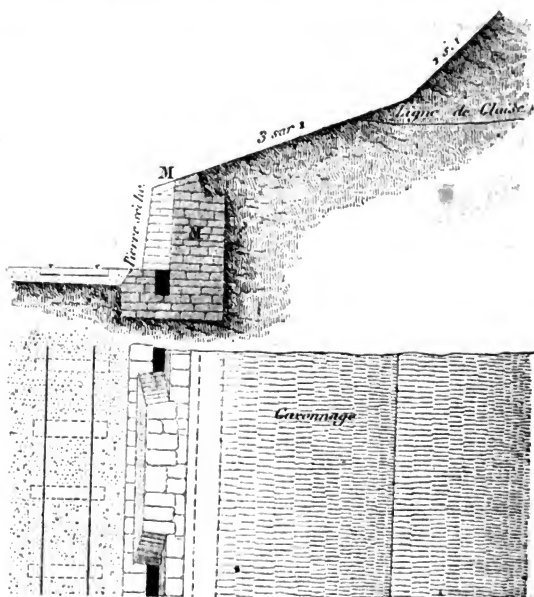


Fig. 25.

partie de la tranchée de Gagny, on a soutenu des talus glaiseux de la manière suivante : le mur en pierres sèches M (fig. 25), renforcé par des contre-forts également en pierres sèches, soutient le

piéd du talus et laisse filtrer les eaux. Toute la partie du talus qui se compose de glaise a une inclinaison très-faible (5 de base sur 1 de hauteur); il est en outre protégé par une couche de terre gazonnée avec soin.

Sur d'autres lignes on a construit le mur de soutènement en pierres reliées par du mortier, mais en plaçant derrière ce mur un autre mur en pierres sèches faisant fonction de pierrées se dégorgeant dans les fossés du chemin par des conduits également remplis de pierres sèches traversant le mur maçonné.

Éperons en pierres sèches. — Sur le même chemin, dans des terrains contenant une grande quantité d'eau, on a ouvert dans le talus ébouleux, suivant la ligne de plus grande pente, des fossés plus ou moins profonds et plus ou moins éloignés les uns des autres, et on les a remplis de pierres sèches formant des éperons qui s'appuient sur un mur également en pierres sèches bordant le fossé de la voie.

Cette disposition est la même que celle employée avec succès au chemin de Londres à Birmingham pour reconstruire des talus éboulés.

Si le talus n'est imprégné d'eau que sur une partie de sa hauteur, les éperons sont réunis par des voûtes soutenant le terrain supérieur.

Au chemin de Blesmes à Gray on a adopté une disposition analogue en maçonnant les éperons et les voûtes, non dans le but de dessécher le terrain assaini par des drains, mais pour soutenir une route placée au sommet du talus, et qui s'opposait à ce qu'on en diminuât l'inclinaison.

Les massifs entre les éperons doivent toujours être préservés des influences atmosphériques au moyen de revêtements en gazon ou en terre pilonnée.

Nous examinerons plus loin jusqu'à quel point les procédés que nous venons d'exposer sont avantageux.

Méthode Sazilly. — En examinant attentivement ces éboulements, et en remarquant que souvent ils avaient lieu sur le talus d'aval de la tranchée, M. de Sazilly, ingénieur des ponts et chaussées, fut conduit à les attribuer, dans le plus grand nombre de cas,

à d'autres causes qu'à de simples glissements. En conséquence, il proposa et appliqua sur les chemins du Centre et de Strasbourg une nouvelle méthode de consolidation des talus. Nous allons indiquer en quelques mots les procédés que cet ingénieur a décrits avec beaucoup de détails dans un Mémoire inséré dans les *Annales des ponts et chaussées*, année 1851.

Les couches de glaise mises à nu par l'ouverture de la tranchée sont soumises aux influences atmosphériques; elles changent incessamment de volume en se gonflant et se contractant suivant que l'atmosphère est humide ou sèche. Il en résulte, dans la masse, des gerçures plus ou moins profondes qui donnent accès aux eaux de pluie et d'infiltration; la couche glaiseuse se pénètre complètement et finit par se ramollir au point de perdre toute sa cohésion.

Cette altération du terrain est encore favorisée par les gelées, qui, en bouchant les issues des eaux d'infiltration, forcent ces eaux à pénétrer les glaises suivant leurs fissures et plans de clivage. La forme *s s* (fig. 26) qu'affectent les éboulements confirme en tous

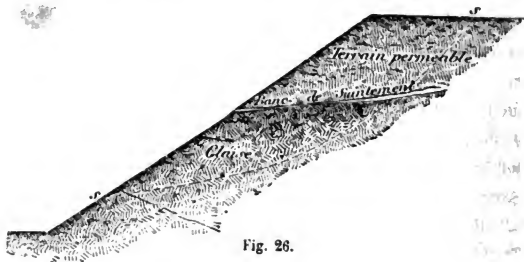


Fig. 26.

points les hypothèses de M. de Szilly. — En effet, ce ne sont pas seulement les terrains supérieurs à la glaise qui se déplacent, mais aussi la glaise elle-même, ce qui n'aurait pas lieu s'il y avait un simple glissement. Partant des bases que nous venons d'indiquer, M. de Szilly a recouvert les talus glaiseux des tranchées d'une chemise assez épaisse pour les soustraire aux influences atmosphériques; il a également détourné les nappes souterraines en leur as-

surant vers les fossés un écoulement prompt et constamment libre, quelle que soit la température extérieure.

A cet effet, soit $n n'$ (fig. 27) une nappe d'eau (banc de suinte-

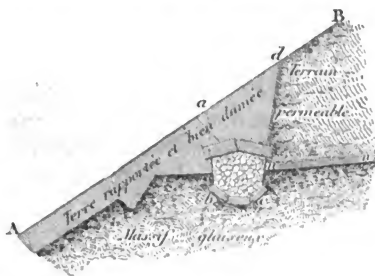


Fig. 27.

ment) qui se fait jour dans le talus $A B$; on ouvre dans ce talus et dans le sens longitudinal de la tranchée une petite rigole $a b c d$ qui pénètre jusque dans la masse glaiseuse. On donne au fond de cette rigole une pente d'environ $0^m, 01$ par mètre, en suivant, autant que possible, les inflexions du banc de suintement, et l'on y établit un radier en briques et mortier hydraulique; puis on la remplit de cailloux bien lavés, et on la recouvre avec des gazons ou avec des pierres plates.

A chaque point bas de la rigole longitudinale, on donne écoulement aux eaux qui s'y accumulent au moyen d'une rigole transversale $K g$ (fig. 28), qui aboutit dans un cuvette rampante en maçonnerie établie sur le talus, ou au moyen d'une pierre établie sur la pente même du talus et débouchant dans le fossé. S'il existe plusieurs bancs de suintement, on établit une pierrée pour chacun d'eux (fig. 29).

Le fossé et le pied du talus sont revêtus en moellons; au-dessus, ce talus est taillé en redans, et recouvert d'une couche de terre bien damée et protégée par un semis. Le fond des redans doit être réglé avec pentes longitudinales, et leurs points bas, qui ordinairement correspondent à ceux des pierrées, sont mis en communication avec le fossé.

Au chemin de Mulhouse, M. Masson, ingénieur ordinaire, a remplacé, dans la tranchée de Beaulieu et de Chifflard, près de Rosoy et

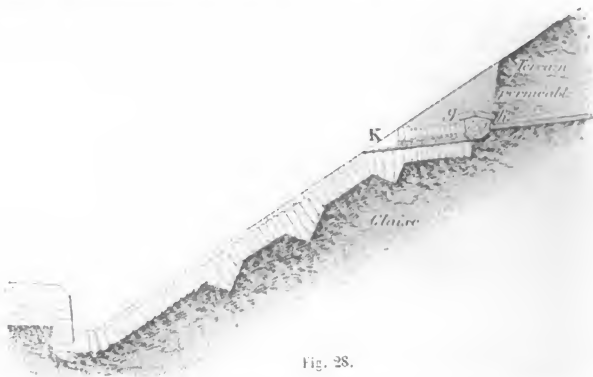


Fig. 28.

Faye-Billot, les briques formant le radier des rigoles ou caniveaux

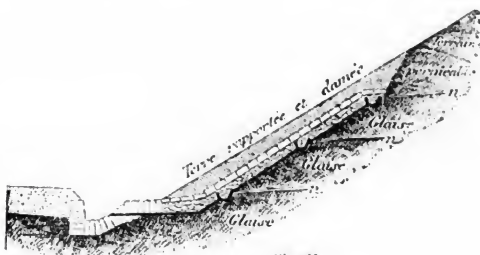


Fig. 29.

de M. de Sazilly par des tuiles creuses (fig. 50 et 51); quelquefois par des tuyaux de drainage (fig. 52). Les tuiles creuses, suivant M. Masson, diminuent le nombre des joints ainsi que la consommation de mortier, et sont plus faciles à placer.

Mais, le rayon des tuiles creuses étant généralement trop grand, les eaux passent par-dessus le bord extérieur. Les tuyaux de drainage de dimensions convenables nous semblent préférables; et, si

M. Sazilly n'en a pas fait usage, c'est probablement parce que, quand il a appliqué pour la première fois son procédé, ils étaient peu répandus.

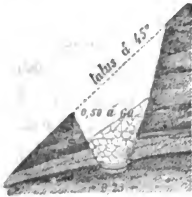


Fig. 50.

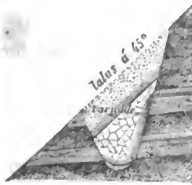


Fig. 51.



Fig. 52.

Méthode des collecteurs. — Au chemin de Blesmes à Gray, dans un terrain marneux où l'eau se manifestait à peu près sur tous les

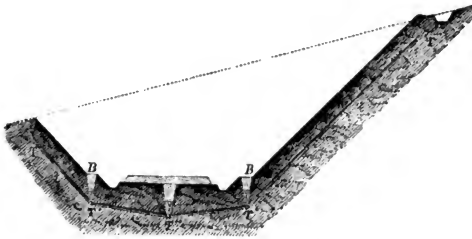


Fig. 53.

points, M. Ledru, ingénieur principal, a desséché les talus et la chaussée à l'aide d'un ensemble de tubes de drainage dont la disposition est indiquée figure 53.

Les tuyaux T sont logés dans les fossés de 1 mètre à 1^m,20 de profondeur environ (fig. 54), pratiqués sur le talus et espacés de 5 à 6 mètres suivant la nature du terrain; ces tuyaux sont recouverts de pierres concassées d'abord, puis de terres pilonnées.

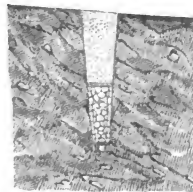


Fig. 54.

Ces collecteurs de talus se dégorgent dans des collecteurs T', dits

collecteurs latéraux, placés sous les petites banquettes B, dont la surface est au niveau du rail et qui communiquent avec un collecteur central T' au moyen de drains transversaux espacés de 10 à 20 mètres.

Les drains doivent être formés de tuyaux de drainage, avec manchons, ayant 0^m,03 de diamètre intérieur pour les drains transversaux et 0^m,05 à 0^m,08 pour les collecteurs principaux. Les débouchés de ces collecteurs doivent être tenus toujours parfaitement libres et à l'abri de la gelée. Il faut pour cela que cette extrémité soit recouverte de 0^m,60 au moins de terre, qu'elle soit à 0^m,20 au-dessus du sol ou du fond du fossé où elle débouche, et qu'elle soit dessinée par un petit revêtement en pierre.

Les drains de talus étaient anciennement posés le plus généralement *en écharpe*. Ce n'était que dans de très-mauvais terrains et dans ceux qui avaient subi des commencements de glissement qu'on les plaçait suivant les lignes de plus grande pente. Aujourd'hui on les place *toujours* dans cette direction en les rapprochant plus ou moins, suivant la nature du terrain. On est naturellement disposé à penser que les eaux, tendant à couler suivant la ligne de plus grande pente, descendront en partie vers le fossé en dégradant le talus entre les drains. M. Ledru déclare toutefois qu'il résulte de l'expérience qu'il en a faite dans un certain nombre de tranchées que, les drains étant à une distance convenable, elles sont pour ainsi dire attirées vers les conduites de dégagement et absorbées sans dommage pour le talus. Quand, au contraire, les drains sont en écharpe, les filtrations accidentelles par les joints des drains sont beaucoup plus préjudiciables au talus. Elles ont quelquefois occasionné des éboulements.

Le terrain mouillé ne descendant pas jusqu'au pied du talus, les drains de talus n'ont été posés que sur la partie mouillée, et se sont déchargés, soit à l'air libre, soit dans des drains longitudinaux établis sur le talus à 0^m,50 au moins au-dessous du plan de séparation des deux terrains perméable et imperméable. Les drains longitudinaux versent leurs eaux dans les fossés de la chaussée.

Le terrain perméable enfin se trouvant dans la partie inférieure du talus, tandis que la partie supérieure est composée de couches

imperméables, on le dessèche à l'aide de collecteurs de talus se dégorgeant, comme dans le premier cas, dans des collecteurs latéraux qui versent les eaux dans un collecteur central.

On donne aux collecteurs la pente nécessaire à l'écoulement des eaux. La figure 55 indique la coupe longitudinale d'un collecteur central définitif.

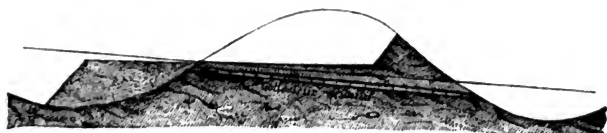


Fig. 55.

Méthode Lalanne. — Au même chemin de Blesmes à Gray, on a appliqué un nouveau système de drainage qui avait été indiqué par M. Lalanne, ingénieur en chef, directeur des travaux au chemin de fer de l'Ouest (Suisse).

Ce système de drainage consiste à percer les talus de trous faits avec une tarière en avant des sources, et à y enfoncer une file de drains de 0^m,5 à 0^m,5 enfilés sur une perche en bois, que l'on retire ensuite avec précaution en laissant la file de drains dans le trou. Pour que ce chapelet de drains ne se disloque pas, les manchons qui garnissent les joints sont reliés entre eux par un fil de fer fixé (fig. 56) aux drains et aux manchons extrêmes, et simplement enroulé sur les manchons intermédiaires.



Fig. 56.

Consolidation du Steinberg. — Nous croyons enfin utile de donner ici la description d'un travail assez intéressant exécuté sur le chemin de Metz à Forbach, pour maintenir la paroi d'amont d'une grande tranchée.

Ce chemin coupe entre Saint-Avold et Hombourg un mamelon dit *Steinberg* (fig. 57), composé principalement de couches inclinées de sable et glaise reposant sur un banc de grès.

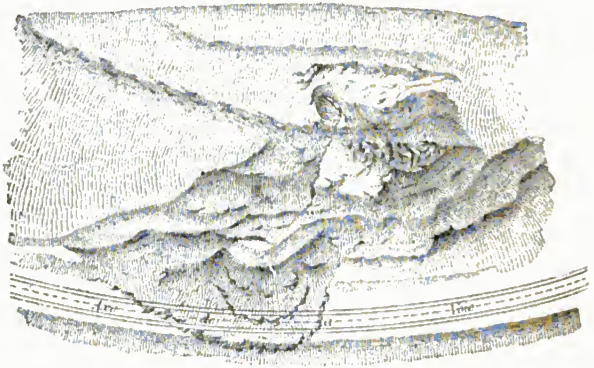


Fig. 57.

Les profils ci-contre (fig. 58 et 59) indiquent à peu près l'état de cette tranchée avant les derniers éboulements de novembre 1852.



Fig. 58. — Profil n° 1.

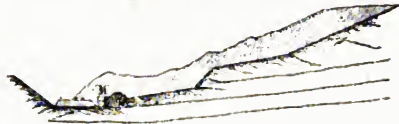


Fig. 59. — Profil n° 2.

Jusqu'à l'époque où ces éboulements ont commencé, le banc A n'avait jamais cédé et avait toujours été considéré comme une base solide. Le revêtement en partie maçonné du fossé avait été exécuté

non pour reténir ce banc, mais simplement pour le garantir de l'érosion. La partie B' du banc B avait descendu pendant la construction en glissant sur le banc A, et la partie restante avait été arrêtée par le contre-fort C. Enfin, les couches C avaient été revêtues d'un perré encaissé dans les bancs B.

Tous ces travaux avaient été exécutés dans la supposition que le banc A, qui n'avait jamais bougé, resterait en repos.

Ce banc cependant a glissé; le radier s'est soulevé. Par suite, le contre-fort C s'est lézardé et a menacé de descendre à son tour. Des crevasses se sont faites également en D et ont poussé le perré G.

Sous l'action des pluies de novembre 1852, le mouvement a augmenté : 50,000 mètres cubes de terre ou de roche se sont déplacés en glissant sur une veine d'argile jusqu'au delà de l'axe du chemin. Dans les premiers jours de janvier 1855, la même masse a fait un nouveau mouvement et s'est avancée de manière à encombrer complètement la tranchée sur une longueur de 55 mètres.

On a alors, pour ne pas arrêter la circulation, établi une voie auxiliaire contournant le coteau; interrompu, aussi bien que possible, le passage aux eaux de surface qui venaient délayer les terres de l'éboulement, en creusant des rigoles imperméables jusqu'à 200 mètres de la tranchée parallèlement à l'axe; retiré une partie des terres de l'éboulement, décapé sur une grande profondeur les bancs supérieurs qui pesaient sur le banc A, et soutenu ce banc par un gros mur en pierres sèches M percé d'un aqueduc, et représenté dans le profil n° 2.

On a d'autant moins balancé à enlever la masse en mouvement, qu'on pouvait utiliser les terres qui la composaient pour consolider les remblais à l'est et à l'ouest du Steinberg.

On avait pensé que l'on pourrait faire ces déblais conformément à la ligne EF du profil n° 1; mais, en cours d'exécution, on enleva les terres conformément au n° 2, qui indique la situation actuelle.

Assainissement impossible. — *Dans un petit nombre de cas, les travaux d'assainissement ou de soutènement des talus devenant par trop dispendieux et même quelquefois impossibles, il vaut*

mieux modifier la voie. C'est ce qui est arrivé pour la tranchée de Champigneule, sur le chemin de Strasbourg, près Nancy.

Nous avons passé sommairement en revue les différents procédés pour l'assainissement des talus. Avant d'apprécier leurs avantages et leurs inconvénients respectifs, avant de faire connaître dans quels cas chacun de ces procédés doit être plus particulièrement appliqué, nous entrerons dans de nouveaux détails sur le procédé Sazilly, et sur celui que M. de Regel a employé pour consolider les talus de la tranchée de Soultz.

M. Bruère, conducteur des ponts et chaussées très-expérimenté, longtemps associé aux travaux de M. de Sazilly, et employé aujourd'hui par la Compagnie de l'Est, nous a fourni sur l'emploi du procédé de cet ingénieur de nombreux renseignements que nous avons reproduits en entier dans le *Portefeuille*. On en lira avec intérêt l'extrait que nous en donnons.

Quant au second procédé, il a été appliqué à plusieurs tranchées du chemin de Mulhouse par MM. Daigremont et Marsillon. Nous en compléterons la description par d'importants emprunts faits à un rapport de M. Daigremont sur les travaux qu'il a exécutés.

Ce qui suit est extrait du Mémoire de M. Bruère.

Détermination des bancs de suintement. — « Avant de commencer les travaux d'assainissement d'une tranchée, il est très-important de connaître d'avance tous les bancs de suintement.

« Les recherches auxquelles on doit se livrer pour cet objet sont bien moins difficiles qu'on ne le suppose généralement : il suffit pour cela de faire des remarques à l'ouverture des cunettes, car c'est alors que les eaux intérieures de filtration sont le plus abondantes; et, comme la quantité d'eau est trop grande pour que l'air l'absorbe tout entière à sa sortie, il est facile de noter tous les endroits où l'on voit l'eau apparaître. En agissant de cette manière, on sera certain de savoir plus tard, après le règlement des talus, où se trouvent les bancs de suintement lorsqu'il s'agira de recueillir les eaux intérieures de filtration. Il n'est pas nécessaire de suivre alors les suintements dans tout leur développement lorsqu'on fait des recherches : quand on a reconnu un endroit où l'eau sort, on doit être à peu près certain que toute la couche de terrain de même

nature et de même nuance, qui a la même disposition, est elle-même un banc de suintement.

« Quand on n'a pas pu étudier la position des bancs de suintement à l'ouverture des eunettes, ou généralement pendant le déblai des tranchées, on doit observer les talus le matin au lever du soleil; l'air calme et froid de la nuit a absorbé peu d'eau et les bancs de suintement sont alors très-faciles à reconnaître. Dans les cas douteux, on fait bien de répandre du sable ou mieux de la cendre sur les talus : la nuance plus foncée que prennent ces deux matières au contact de l'humidité décèle toujours un banc de suintement.

« Ici se présente l'occasion de faire une remarque très-importante : il arrive quelquefois à ceux qui n'ont pas l'habitude de faire des recherches de suintement de se méprendre sur l'endroit exact où les eaux souterraines sortent à la surface des talus; ces eaux, avant d'en atteindre tout à fait la surface extérieure, peuvent descendre dans les fentes nombreuses que la sécheresse a produites dans la couche inférieure argileuse, de sorte que l'eau se montre beaucoup plus bas que le banc de suintement par où elle se dirige (fig. 40).

« Pour éviter aux autres cette cause d'erreur, je conseillerai ce que je fais toujours moi-même : il faut enlever sur la surface du talus où on soupçonne un suintement toutes les terres désagrégées par l'humidité et par la sécheresse. On sera certain de savoir ensuite exactement quelle est la couche de terrain qui donne passage à l'eau.

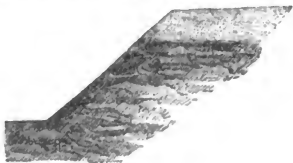


Fig. 40.

« Quand les eaux paraissent à la surface du talus en assez grande quantité, on reconnaît aisément quel est le terrain qui leur donne passage lorsqu'on observe ces talus pendant le jour quand le soleil donne le plus de chaleur. Il arrive alors que la surface du talus devient tout à fait sèche à l'exception des endroits où l'eau sort naturellement. Il est un fait assez curieux que j'ai eu très-souvent l'occasion de remarquer : des surfaces de talus argileux réglés depuis longtemps n'offraient à la température ordinaire aucun

symptôme d'humidité. Or il arrivait que, par les grandes chaleurs, lorsque le soleil échauffait le plus fortement la terre, il se dessinait des zones distinctes où se manifestait une humidité assez abondante. Ces traces d'humidité décèlent toujours des bancs de suintement.

« Les suintements sont encore très-faciles à reconnaître dans les petites tranchées de 0^m,80 environ de largeur ouvertes perpendiculairement à l'axe pour le règlement des talus : l'air, y circulant difficilement, ne peut absorber que faiblement l'humidité produite par les eaux intérieures.

« J'ai parlé d'une espèce de bancs de suintement entre deux couches argileuses homogènes; ils ont généralement une faible épaisseur de 1 à 2 centimètres, et se reconnaissent à la main. Quand une fois on a trouvé un point de leur direction, on peut facilement glisser le doigt sur toute leur longueur entre les deux couches argileuses, qui sont généralement très-compactes; on en retire une matière bourbeuse très-molle, qui a souvent beaucoup d'analogie avec les terrains des couches supérieures; des suintements de cette espèce se voient aujourd'hui à la tranchée de Brie (ligne de Mulhouse); j'en ai vu un assez grand nombre aux tranchées de Soultz et de Sourbourg (ligne de Wissembourg); mais les plus remarquables que j'aie vus jusqu'à ce jour existent à la tranchée du versant méridional de l'Indre, près de Tours (chemin de Tours à Bordeaux). Lorsque j'ai été chargé de la consolidation des talus de cette tranchée, ces suintements avaient déjà produit des éboulements considérables.

« A l'époque des dégels, les eaux provenant de la fonte des neiges et des pluies ne peuvent pénétrer sur la première couche de terrain imperméable que lorsque le sol est complètement dégelé, de sorte que ces eaux, trouvant naturellement une issue dans les tranchées, paraissent à la surface des talus souvent bien au-dessus du premier banc de suintement ordinaire; elles se montrent le plus abondamment de 0^m,40 à 0^m,50 au-dessous de la partie supérieure du sol (fig. 41).

« Quand une tranchée est ouverte dans l'emplacement d'une forêt, les racines des arbres abattus de chaque côté de la tranchée

produisent à leurs extrémités une grande quantité d'eau qui, sans elles, se serait écoulee à la surface du sol. Cette remarque est d'autant plus importante, que la quantité d'eau qu'elles introduisent dans les terres est très-considérable à l'époque des dégels et des fortes pluies. C'est à la présence de ces racines qu'il faudra attribuer l'abondance des eaux dans la partie supérieure des talus de la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse). La plus grande partie des éboulements qui se sont produits à la tranchée de Strohubel (ligne de Wissembourg) n'a pas eu d'autre cause que la présence des racines.

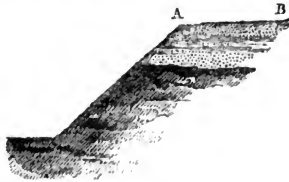


Fig. 41.

« La conservation des talus sera assurée quand on aura pris les dispositions nécessaires pour les préserver des eaux intérieures et des influences atmosphériques.

Caniveaux d'assainissement. — « Pour prévenir les effets des eaux intérieures, il suffit de les recueillir de manière qu'elles ne soient jamais soumises à l'action des gelées et qu'elles ne s'écoulent que le moins possible à la surface des terres argileuses.

« Les caniveaux d'assainissement remplissent complètement ce but; le principe sur lequel on s'appuie pour leur construction est excessivement simple : les caniveaux consistent dans une certaine quantité de matières perméables appliquées contre les couches perméables naturelles qui donnent passage aux eaux de filtration, et en une rigole en maçonnerie de briques établie au-dessous pour recueillir les eaux et les diriger dans les contre-fossés du chemin de fer (fig. 42).

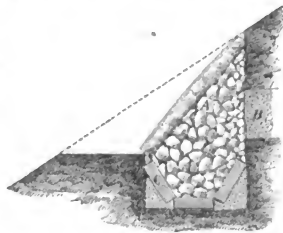


Fig. 42.

« Afin de préserver la surface des talus des effets de la sécheresse et des pluies, et particulièrement des gelées, il faut la recouvrir d'une couche de terres pilonées de manière qu'elle ne soit soumise

qu'au moindre tassement possible; les terres servant aux recouvrements doivent être choisies parmi celles qui ne sont point sujettes à devenir fluentes au contact de l'eau; elles doivent être pilonnées partout avec le même soin et avec la même force, de sorte que ces recouvrements deviennent aussi compactes que possible, au point de devenir imperméables eux-mêmes.

« Les eaux de pluie, en descendant sur des talus d'une hauteur un peu considérable, ravineront ces talus vers leur base et seraient la cause de dégradations plus ou moins importantes, si on ne prenait pas la précaution de diminuer le volume et la vitesse des eaux pluviales. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'établir de distance en distance des banquettes étagées destinées à recevoir les eaux qui descendent à la surface des talus.

« Pour le prompt écoulement des eaux de pluie sur les banquettes, il devient indispensable de les disposer de manière qu'elles aient une pente transversale qui soit autant que possible opposée à celle des talus, et une pente longitudinale suffisante pour que les eaux soient concentrées dans un assez petit espace et qu'elles puissent s'écouler promptement vers les points les plus bas donnés par les pentes longitudinales.

« A la jonction inférieure de deux pentes opposées, on est alors obligé de construire des cuvettes en maçonnerie par lesquelles les eaux reçues par les banquettes s'écoulent directement dans les contre-fossés du chemin de fer.

« Pour que les eaux qui s'écoulent dans les fossés des tranchées argileuses ou sablonneuses ne dégradent pas la base du talus, il est nécessaire de perreyer ces fossés. Dans les tranchées argileuses, il suffit de perreyer le fond du fossé et le talus opposé à la voie; l'autre talus peut être simplement gazonné à plat.

« Malgré tout le soin avec lequel on aura fait choix des terres destinées aux revêtements du talus, et quoique ces revêtements soient très-bien pilonnés, on ne parviendra jamais à le rendre complètement imperméable: les eaux qu'il contiendra aux dégels, celles provenant des fortes pluies, pénétreront donc les recouvrements sur toute leur épaisseur, en faible quantité il est vrai, mais assez cependant pour que celles qui parviendront au pied des talus

ramollissent les terres rapportées et fassent perdre aux revêtements toute leur solidité. C'est pour cette raison que, depuis quelques années, j'ai l'habitude d'établir au pied des talus un caniveau destiné à recueillir les eaux qui s'écoulent entre le terrain naturel et les terres du revêtement (fig. 45).

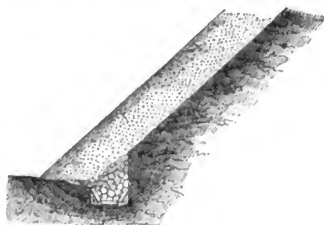


Fig. 45.

Assèchement d'un terrain sablonneux. — « Les dispositions décrites ci-dessus doivent être modifiées quand il s'agit d'assainir un terrain sablonneux où il y a beaucoup d'eau, par conséquent où le sable est très-mouvant, ou quand la hauteur du suintement est très-considérable; c'est ce qu'on appelle un suintement général.

« On doit ici, comme je l'ai déjà dit, établir le caniveau sur un terrain solide. Comme le gravier que l'on poserait sur le sable ne tarderait pas à devenir inutile par son introduction dans une masse trop mouvante, il est nécessaire de l'envelopper dans des branches fines et serrées alentour. Les fascines (fig. 44 et 45), liées très-solidement, sont ensuite placées sur le talus, comme je le dirai tout à l'heure.



Fig. 44.



Fig. 45.

« Les branches de genêt et de bouleau sont d'un bon usage pour la fabrication des fascines de gravier.

« L'établissement d'un filtre en fascines est sans contredit le tra-

vail le plus délicat et le plus difficile qui se puisse rencontrer dans l'assainissement du talus.

« Aussitôt après le règlement des talus, après avoir préparé tous les matériaux nécessaires, on place les fascines en commençant par le haut, de manière qu'on ne soit jamais incommodé par le sable, qui est toujours entraîné par les eaux.

« On commence donc par pratiquer un redan A, et l'on pose immédiatement, comme il est indiqué au croquis figure 46, la fascine A'. Ensuite un ouvrier ouvre un deuxième redan B, où la fascine B' est aussitôt placée. Le travail étant continué ainsi jusqu'au bas du suintement, les fascines sont ensuite recouvertes de 0^m,10 de gravier, et le talus représente en profil la forme indiquée à la figure 46.

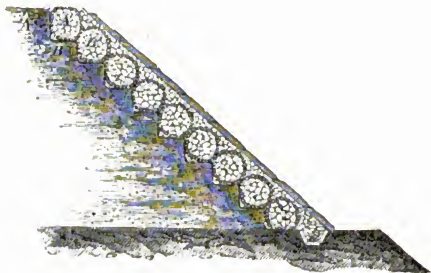


Fig. 46.

« Il ne reste plus qu'à faire sur le tout un gazonnement à plat de 0^m,10 d'épaisseur; et, pourvu que les fascines soient bien serrées les unes contre les autres, qu'elles soient placées à joints recouverts, il n'est plus à craindre qu'il survienne des éboulements. On sera peut-être obligé de temps en temps de nettoyer le caniveau obstrué par le sable qui sera entraîné par les eaux pendant les premiers jours; mais ce sera un travail facile si on a pris la précaution de ne remplir le caniveau avec le caillou et de ne recouvrir le talus que plusieurs jours après l'établissement du filtre en fascines.

« Un recouvrement en terre végétale fait comme il sera dit plus

tard, serait très-convenable, mais le plus souvent un simple répan-dage de 0^m,15 de terre végétale est bien suffisant.

« Il arrive quelquefois que des suintements de cette nature ont une étendue moins considérable, et qu'il n'en faut cependant pas moins de précautions pour les consolider.

« A la tranchée de Sourbourg (ligne de Wissembourg), la partie supérieure de la première couche argileuse présentait dans quelques endroits une dépression considérable. Une grande quantité d'eau suintait du talus après avoir traversé un banc de sable pur de 0^m,80 de hauteur environ. Malgré toute la promptitude avec laquelle on avait réglé le talus pour le consolider immédiatement, on n'a cependant pas pu empêcher la production de petits éboulements. L'eau entraînait le sable avec une telle abondance, qu'il a été nécessaire de faire usage de fascines pour l'assainissement du talus. La figure 47 peut donner une idée assez exacte du travail qui vient d'être expliqué.

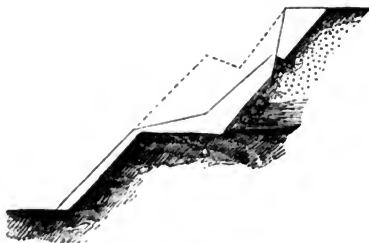


Fig. 47.

Revêtement des talus. — « Les revêtements de talus peuvent être faits en maçonnerie de pierres sèches, en gazon ou en terre végétale : les derniers sont bien préférables aux autres. Ils sont plus économiques, et, quand ils sont bien faits, ils garantissent mieux les talus contre les effets de la pluie et du dégel.

Banquettes. — « Les banquettes doivent être étagées de 3 à 4 mètres de distance verticale les unes des autres, suivant que l'inclinaison des talus est plus ou moins considérable.

« Pour que les banquettes ne puissent pas se dégrader par le

passage des eaux, on doit autant que possible les recouvrir de gazon.

Cuvettes. — « Les cuvettes se font en gazon par assises, ou en maçonnerie.

« Les cuvettes en maçonnerie sont bien préférables aux cuvettes en gazon; elles coûtent beaucoup plus cher, mais elles sont beaucoup plus solides et n'exigent pas d'entretien.

« Elles doivent être maçonnées avec du mortier de chaux hydraulique et jointoyées avec du ciment de tuileaux. »

Dans certaines tranchées du chemin de Mulhouse, les cuvettes en maçonnerie ont été remplacées par des cuvettes en tuiles maçonnées qui sont moins coûteuses.

Au chemin de Strasbourg à Wissembourg, qui fait partie du réseau de l'Est, M. de Regel, ingénieur en chef, a appliqué avec un grand succès la méthode Sazilly au dessèchement des talus de plusieurs tranchées; mais il a été conduit, dans la plupart des cas où les eaux entraînaient la couche de sable et produisaient de grands éboulements avant qu'on ait pu établir les pierrées, à modifier le procédé en ce sens qu'il soutenait provisoirement le terrain au moyen de fascines remplies de gravier, qui servaient à le maintenir tout en donnant écoulement aux eaux.

Assèchement de la tranchée de Sultz. — En un certain point de ce chemin, à la tranchée de Sultz, une masse considérable de terrain reposant sur un banc incliné de glaise était entraînée par un grand courant souterrain dans la tranchée. La méthode Sazilly ne paraissait plus applicable, et l'on a employé, malgré la dépense, un procédé représenté figures 48, 49 et 50. Une petite tranchée auxiliaire fut ouverte parallèlement à l'axe du chemin (fig. 48), à 57 mètres de distance de celui-ci, et à 5 mètres au delà des fissures qui s'étaient manifestées dans le terrain. Cette tranchée fut poussée jusqu'à la couche imperméable, après avoir traversé plusieurs alternances de terres ordinaires et de glaises qui présentaient des bancs de suintement superposés. La coupe en long (fig. 49) représente la projection verticale de cette tranchée. Comme il s'agissait de donner aux eaux un écoulement facile et constant, on suivit, pour le profil en long du fond de la tranchée, les ondulations générales de la

couche de glaise, et l'on établit, à chacun des points bas les plus prononcés, un caniveau transversal ou drain qui devait amener



Fig. 48.

dans le fossé du chemin de fer les eaux recueillies par la tranchée latérale.

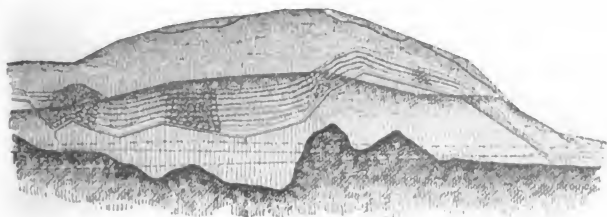


Fig. 49.

Le fond de cette tranchée, dont la section (fig. 50) représente celle d'un prisme triangulaire, fut d'abord garni d'une couche de béton de 0^m,15 d'épaisseur, sur lequel on plaça trois briques à plat formant caniveau, puis on remplit le vide avec des moellons bruts et de petites pierres jusqu'à 1 mètre de hauteur; au-dessus de ce prisme, on éleva une sorte de mur en pierres sèches, tout le long des bancs de suintement que l'on avait traversés, en garnissant le tout d'une couche de mousse pour empêcher la terre de s'introduire dans le perré. Ce perré une fois terminé, on combla le vide de la tranchée en ayant soin de pilonner fortement les terres que l'on avait extraites.

La tranchée auxiliaire de dessèchement, au chemin de Wissembourg, n'a que 10 mètres de profondeur. S'il eût fallu ouvrir une

tranchée plus profonde, le percement dans un terrain coulant en fût devenu excessivement coûteux.

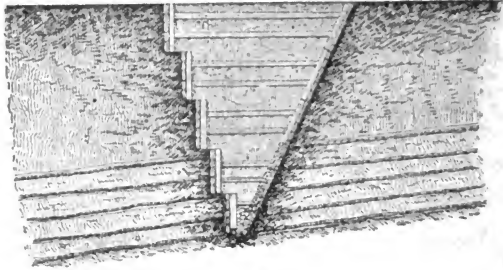


Fig. 50

Assèchement souterrain (dalot-filtre). — Sur certains chemins d'Allemagne et sur le chemin de fer de Lyon, on a ouvert en pareil cas des puits jusqu'au banc glaiseux, et relié ces puits par une galerie dans laquelle les eaux se réunissent et d'où elles s'écoulent par les extrémités ou par des galeries transversales.

C'est par un procédé analogue que M. Pressel, ingénieur wurtembourgeois, a assaini le terrain d'une grande tranchée creusée pour l'établissement de la voie qui réunit le réseau badois au réseau wurtembourgeois. Ce terrain était en grande partie composé d'un mélange de sable et d'argile désigné sous le nom de *læss*, reposant sur une couche de gravier remplie d'eau, qui elle-même s'appuyait sur un sol calcaire. L'eau coulant dans la couche de gravier remontait dans le *læss* et le rendait très-ébouleux. Pour le dessécher et lui donner ainsi toute la consistance nécessaire, M. Pressel a descendu jusqu'au calcaire onze puits éloignés de 50 mètres les uns des autres, les parois de ces puits étant soutenues par un double blindage dont l'intérieur était rempli de mousse; puis, à l'aide de ces puits, il a construit un petit souterrain dont les parois, la voûte et le radier étaient composés de moellons taillés, les interstices entre ces moellons étant remplis de mousse comme l'espace compris entre les deux blindages. Ce souterrain, portant le nom de

dalot-filtre, repose sur une double rangée de madriers en chêne enterrée dans la couche de gravier; il règne sur toute la longueur de la tranchée, à plusieurs mètres au-dessous du sol qui porte les rails. Le dalot-filtre se dégorge par une de ses extrémités dans un petit ruisseau. La pente de son radier est de $0^m,055$. La mousse laisse passer l'eau sans laisser passer le sable. C'est pourquoi on en a fait usage soit pour les parois des puits, soit pour les joints des voûtes. Le travail a présenté de grandes difficultés, car il a fallu, pendant la construction du dalot, épuiser au moyen de pompes puissantes l'eau qui affluait dans les puits ou dans le dalot lui-même. Ce mode d'assainissement a, du reste, donné toute satisfaction.

En général, dans des circonstances de ce genre, il est bon de diminuer la profondeur de la tranchée en relevant le profil du chemin : on évite ainsi d'attaquer plus profondément la couche de glaise et de déchausser le pied de la couche dont on avait à redouter les mouvements. C'est ce qu'on a fait au chemin de Wissembourg et en plusieurs points du chemin de Strasbourg.

M. Daigremont, ingénieur des ponts et chaussées, et M. Marillon, ingénieur civil, ont employé, pour l'assainissement des talus de plusieurs tranchées du chemin de Mulhouse, des moyens qui se rapprochent beaucoup de ceux dont M. de Regel a fait usage à Sultz.

Nous empruntons le passage suivant à un rapport fort intéressant fait sur ces moyens, à la Compagnie de l'Est, par M. Daigremont.

Description du système de consolidation adopté. — « Nous nous sommes arrêté, dit cet ingénieur, à un système déjà employé en Allemagne, et qui consiste à ouvrir une saignée étroite parallèle à la tranchée, et seulement du côté où les éboulements sont à craindre, et à recueillir les eaux de suintement au fond de cette saignée. Nous allons indiquer comment on a réussi à rendre ce travail économique.

« Nous ferons d'abord remarquer que, si le terrain perméable s'arrête à la ligne C D (fig. 51), on se contente de faire descendre la saignée un peu plus bas que cette ligne, et l'on peut alors considé-

rer le prisme de terre asséchée A B D E comme formant un mur de soutènement assis sur une base solide C D; si la tranchée se compose de terrains perméables dans toute sa hauteur, il faut des-

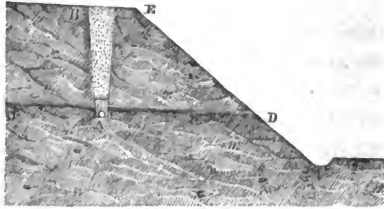


Fig. 51.;

prendre un peu plus le fond de la saignée : nous verrons tout à l'heure comment nous avons été conduit à placer dans tous les cas des drains sous la plate-forme du chemin de fer, ainsi que le représente le croquis ci-contre, de sorte qu'en supposant la tranchée composée dans toute sa hauteur d'une argile perméable (il y a de ces argiles qui s'éboulent très-facilement), le point A doit être descendu assez bas pour que le massif asséché A B C D E, reposant sur

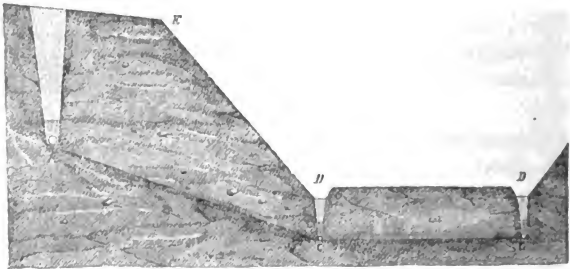


Fig. 52.

le plan incliné A C, et s'appuyant contre la partie solide C D C' D', puisse résister à la poussée des terres situées à gauche de A B (fig. 52).

Creusement des tranchées de drainage. — « Il peut se présenter deux cas dans le creusement des saignées parallèles aux tranchées : ou bien l'on y rencontre peu ou point d'eau, ou bien l'on y trouve des suintements abondants.

« Le premier cas se présente assez fréquemment et ne prouve pas que le travail soit inutile ; car on opère généralement pendant la saison sèche et les terrains perméables peuvent alors être tout à fait exempts de l'eau qui les sature en hiver. Nous avons réussi dans cette circonstance à supprimer entièrement les blindages en remplaçant les saignées continues par une série de fosses oblongues A, A', A'', séparées par des massifs B, B', etc., d'environ 1^m,50 d'épaisseur : on perce ensuite ces massifs par-dessous sur une longueur de 0^m,75 de chaque côté, opération que tout ouvrier terrassier peut faire aisément (fig. 55).

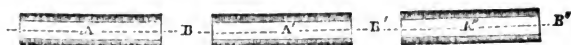


Fig. 55.

« Dans le deuxième cas, c'est-à-dire si l'on rencontre dans la saignée une quantité d'eau notable, le procédé de blindage naturel cesse d'être applicable ; il faut alors attaquer le travail par l'aval, en le blindant avec plus ou moins de soin, suivant la nature du sol ; mais, dans cette hypothèse, et en admettant que la saignée ait quelque profondeur, on se dispense de retirer toutes les terres de la fouille, et, en disposant l'atelier convenablement¹, on économise 60 pour 100 sur la dépense. Ajoutons qu'en tout cas la saignée a juste la largeur nécessaire pour permettre aux ouvriers de travailler ; il ne faut pas dépasser 0^m,50 dans le fond.

Pose des tuyaux de drainage. — « A mesure qu'une portion de tranchée auxiliaire se trouve à profondeur, on y pose des tuyaux de drainage, qui doivent présenter une pente bien uniforme ; nous n'avons admis aucune inclinaison inférieure à 0^m,005 par mètre, bien qu'on descende souvent à 0^m,005 dans le drainage agricole ; mais nous avons pensé qu'en raison de l'importance du travail il

¹ Voir pour l'organisation des chantiers les documents du *Portefeuille*.

valait mieux nous tenir au-dessous de la pente-limite adoptée par les draineurs, afin d'être bien assuré d'éviter tout engorgement dans les tuyaux. Par le même motif, nous n'avons employé pour les drains longitudinaux que des tuyaux d'au moins 0^m,065 de diamètre, quand même ces tuyaux n'avaient à débiter que quelques litres d'eau par jour ¹.

« Le drain longitudinal est toujours entouré de matières filtrantes; quand les eaux sont peu abondantes, ces matières filtrantes sont simplement de la terre végétale ou du gazon, qu'on étend au fond de la fouille sur une épaisseur de 0^m,50 environ; on emploie aussi le sable ou la terre sableuse, quand on en a sous la main. Mais, dans les cas les plus difficiles, on a recours au gravier, ou bien à la pierre et à la brique cassée; on n'en met jamais qu'une couche assez épaisse pour être sûr que le tuyau ne sera pas envasé.

« On a également soin de mettre de la mousse, des roseaux ou du gazon à chaque joint de tuyaux, afin d'empêcher l'introduction de l'eau trouble dans le drain.

« On pratique ensuite dans la paroi de la tranchée de drainage opposée au chemin de fer une série de rainures verticales, dans lesquelles on place des tuyaux de drainage; ceux-ci sont garnis de roseau à leurs joints; on les arrête à quelque distance (0^m,50 à 1 mètre) du sol, et l'on bouche le dernier tuyau avec un tampon de roseaux; à la partie inférieure, ces drains communiquent avec le drain longitudinal; on les espace de 2 en 2 mètres, et on leur donne un faible diamètre; nous avons adopté celui de 0^m,057.

Comblement de la tranchée de drainage. — « Cette opération terminée, on remplit la fouille avec les terres qui en ont été primitivement extraites, en les pilonnant avec le plus grand soin; on arrive ainsi à couper toutes les veinules perméables existant dans le terrain naturel, et à former une sorte de batardeau qui arrête les eaux de filtration et les fait descendre dans les tuyaux de drainage

« Si l'on néglige de pilonner fortement les terres, elles se tassent

¹ Tous les tuyaux (à l'exception de quelques tuyaux d'un grand diamètre, faisant office de conduite) ont été posés sans manchons: l'emploi des manchons paraît dangereux quand on pilonne fortement les terres.

bientôt, se gercent, et, à la première pluie qui survient, les eaux remplissent la saignée, se troublent en traversant ce sol fraîchement remué, bouchent les tuyaux de drainage, et donnent lieu à des éboulements beaucoup plus considérables que si l'on avait laissé les choses à l'état naturel; c'est ce qui nous est arrivé par la faute d'un chef d'atelier dans une tranchée.

« Pour se mettre complètement à l'abri de pareils accidents, il est bon de faire visiter, après chaque pluie, les tranchées de drainage déjà remblayées, et de faire recharger en terre pilonnée toutes les parties qui se sont fendues et ont éprouvé des tassements.

Des fossés supérieurs. — « On sait que les fossés supérieurs placés sur la crête des tranchées pour arrêter les eaux pluviales et empêcher le ravinement des talus constituent pour les tranchées un danger permanent, et donnent lieu à des éboulements considérables, en raison de la stagnation des eaux, quand on n'a pas le soin de leur donner une grande pente, chose souvent difficile, et de les entretenir en très-bon état. Rien de pareil n'est à craindre avec le système d'assainissement que nous venons de décrire, pourvu que l'on place les fossés supérieurs un peu au delà des drains verticaux A B : il est bien évident, en effet, que ces drains empêchent toujours la production d'un banc de glissement tel que

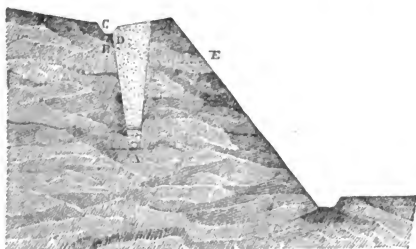


Fig. 54.

C D E, puisque les eaux de filtration, parvenues au point D, iront joindre le drain longitudinal A (fig. 54).

Précautions à prendre contre l'engorgement des tuyaux. — « Les rats, les souris et d'autres animaux s'introduisent fré-

quement dans les tuyaux de drainage et les obstruent; en outre, les eaux qui s'y rassemblent sont souvent incrustantes, et laissent déposer du carbonate de chaux, du peroxyde de fer, dès qu'elles arrivent au contact de l'air; enfin, à la faveur de l'air et de la lumière, certains végétaux se développent quelquefois dans les drains; on évite ces graves inconvénients en recourbant les tuyaux à leur extrémité, et en les faisant plonger dans un petit réservoir d'eau (fig. 55).

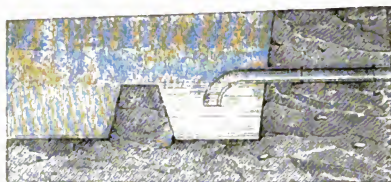


Fig. 55.

« Si quelques portions de tuyaux s'engorgent pendant l'exécution des travaux, on les nettoie facilement au moyen d'une pompe foulante.

Établissement des drains transversaux. — « Dans les tranchées d'une grande longueur, le système de drainage précédemment décrit présente quelque danger : en effet, les eaux de filtration, suivant le drain longitudinal, se partagent en deux directions opposées au point culminant de la tranchée et ne s'écoulent que par les deux extrémités du tuyau, et, si l'écoulement cessait par hasard à l'une de ces extrémités, on reconnaîtrait bien que le drain est obstrué, mais on ne pourrait pas savoir en quel point, et l'on serait exposé à recommencer entièrement un travail coûteux. Il faut donc nécessairement établir, de distance en distance, des drains transversaux A C, ayant pour objet de mettre en communication le tuyau longitudinal A avec la tranchée du chemin de fer (fig. 56).

Drainage de la plate-forme. — « Mais il se présente alors un autre inconvénient : les eaux de filtration, très-abondantes dans quelques tranchées, et coulant, été comme hiver, dans les fossés,

ramollissent peu à peu la plate-forme, rendent la voie mauvaise, et provoquent au pied des talus des éboulements fréquents, tels que CD : ces éboulements comblent le fossé, arrêtent les eaux, et le mal se propage avec rapidité; on se trouve dès lors conduit à perreyer le pied des fossés, solution coûteuse et insuffisante.

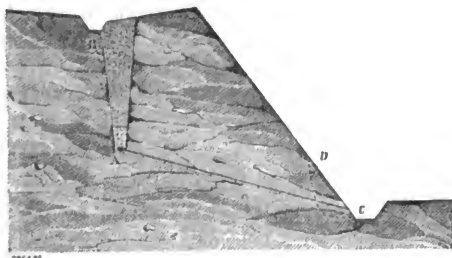


Fig. 56.

« En admettant même qu'il n'y ait pas d'eaux de filtration reçues dans les fossés d'une tranchée, il arrive souvent, si cette tranchée a peu de pente, que les eaux pluviales y séjournent et produisent les effets ci-dessus décrits : en outre, l'inclinaison transversale de la plate-forme étant et ne pouvant être que très-faible, le dessous des traverses reste toujours humide, et, comme ces traverses fléchissent au passage de chaque train, elle pétrissent peu à peu la glaise de la plate-forme, et la voie finit par être détestable.

« Ces différentes considérations nous ont engagé à drainer la plate-forme de toutes les tranchées glaiseuses, opération qu'on a déjà pratiquée en Allemagne avec le plus grand succès. Nous avons placé un drain sous chaque fossé du chemin de fer : cette disposition nous a paru plus efficace que celle qui consiste à poser un seul drain dans l'axe de la voie. On nous a, il est vrai, objecté qu'en faisant ainsi une coupure au pied du talus nous risquions de provoquer des éboulements; mais, jusqu'à présent, cela ne nous est point arrivé, et, en ayant soin de bien pilonner les remblais au-dessus des tuyaux, ils deviennent en quelques jours, et comme tout le reste de la plate-forme, aussi durs que l'aire d'une grange.

« Les tuyaux de la plate-forme se posent comme les autres, avec plus ou moins de matières filtrantes, suivant les cas; ils reçoivent, au moyen de drains transversaux dont il a été question plus haut, les eaux de filtration venant des drains supérieurs; enfin, tous les 100 mètres, on placera un petit regard maçonné au-dessus des drains de la plate-forme (fig. 57), afin de recueillir les dépôts qui pourraient se former et de s'assurer si tout le système fonctionne bien. Ajoutons que ces regards ne devront guère être visités que pendant un certain nombre de mois après l'achèvement des travaux; car un drain bien établi ne s'engorge jamais, et, quand on aura réparé les malfaçons qui auraient pu se produire, la surveillance deviendra presque entièrement inutile.

« Nous avons fixé à 1^m,20 la profondeur moyenne des drains en contre-bas de la plate-forme, et nous n'avons fait en cela qu'imiter ce que l'on a exécuté sur les chemins allemands, et ce que l'on a adopté en Angleterre pour le drainage agricole.

fond du fossé

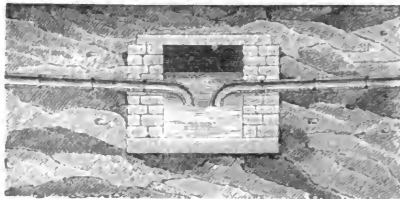


Fig. 57.

« Il est du reste reconnu en France, par tous les auteurs qui ont écrit sur le drainage, que, dans les terres fortes, on ne doit pas poser les tuyaux à moins de 1^m,20; or il est bien évident qu'une plate-forme de chemin de fer doit être asséchée au moins aussi bien qu'un champ, qui doit toujours conserver une certaine humidité favorable à la végétation; aussi pensons-nous avoir fait le strict nécessaire en adoptant la profondeur de 1^m,20. Ajoutons que les drains de la plate-forme sont distants d'environ 10 mètres, ce qui correspond à peu près à l'espacement adopté en agriculture.

Cas où il existe une couche aquifère sous la plate-forme. —

« Nous avons parlé, au commencement de cette note, d'un cas qui se présente fréquemment, celui où il existe une nappe d'eau qui n'est pas coupée par la tranchée, et qui est douée d'une pression assez forte pour soulever la plate-forme si elle est imperméable, et pour la transformer en bouillie si elle est perméable. Il faut toujours faire quelques sondages pour examiner si l'on n'a pas cette difficulté à combattre, et, si l'on reconnaît l'existence d'une couche aquifère, il faut tâcher de savoir ce qu'elle peut débiter de litres d'eau par minute. Ce point difficile une fois fixé, on assainit la plate-forme en descendant le drain A (fig. 58) au milieu de la couche aquifère; il est bon en ce cas de ne pas économiser les blindages et les matières filtrantes. Il faut toujours mettre le drain A du côté du drain supérieur, c'est-à-dire du côté où le sol est le plus élevé : tout le succès de l'opération dépend d'ailleurs du diamètre du tuyau A; si ce diamètre se trouvait insuffisant, la sous-pression de la couche aquifère ne serait pas détruite, et le travail serait à recommencer.

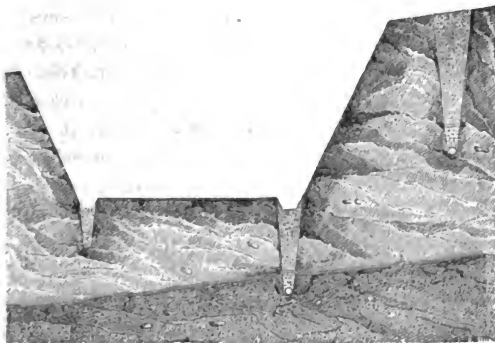


Fig. 58.

Inclinaison des talus des tranchées. — « En terminant ces généralités relatives aux assainissements, nous dirons que, dans notre opinion, on peut toujours ou presque toujours donner aux talus de

déblai l'inclinaison de 45° , si on les assainit par les moyens que nous avons développés; si nous avons donné à un certain nombre de talus de tranchées l'inclinaison de $1^m,50$ de base sur 1 mètre de hauteur, c'est que nous avons besoin de terre pour les remblais; mais, lorsque cette circonstance ne s'est pas présentée, nous avons adopté l'inclinaison de 45° . Pour un déblai de 6 mètres de profondeur, en augmentant ainsi la roideur de la pente de $0^m,50$ par mètre, on économise 18 mètres cubes, c'est-à-dire 27 francs par mètre courant de tranchée, en appliquant le prix payé à MM. Parent et Schaken : c'est plus que ne coûtent l'assainissement et le revêtement des talus, même dans des cas difficiles. »

L'assainissement de la plate-forme, si important, comme l'indique M. Daigremont, a présenté au chemin de Wissembourg de grandes difficultés qui ont été heureusement surmontées par M. Goschler. Nous reviendrons plus loin sur le travail exécuté par cet ingénieur.

Mais, auparavant, nous comparerons les différents procédés employés pour l'assainissement des talus.

Comparaison des différents procédés. — M. Chaperon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur du chemin de Lyon, ne partage pas l'opinion de M. de Sazilly sur les causes des éboulements, ou du moins sur les moyens d'y remédier. Voici en quels termes il s'exprimait dans les *Annales des ponts et chaussées* ¹ :

« Si l'on examine attentivement la forme du terrain dans les coteaux argileux, on reconnaît que le relief actuel du sol ne s'est établi qu'à la suite d'une série séculaire de mouvements dans les couches supérieures, et que la masse tout entière ne présente même qu'un équilibre instable, fréquemment troublé à la suite des dégels et des longues pluies. Cet équilibre momentané ne se maintient qu'à la condition que les parties supérieures trouvent leur appui sur les parties inférieures du terrain, en sorte qu'il est détruit par la moindre modification apportée dans le relief du sol.

« Si, dans un semblable terrain, on vient à ouvrir une tranchée, quelque peu profonde qu'elle soit, les conditions d'équilibre se

trouveront brusquement rompues, et des mouvements auront lieu, sinon au moment même de l'opération, du moins à une époque ultérieure plus ou moins éloignée, lorsque les pluies ou le dégel auront pu ramollir la glaise et en diminuer la cohésion. L'eau qui tombe à la superficie du sol trouve toujours en effet des fissures ou des couches perméables par lesquelles elle s'introduit au sein même des masses argileuses, dont la solidité se trouve ainsi considérablement diminuée à certaines époques.

« La rupture d'équilibre des masses glaiseuses, telle est, à notre avis, la cause prépondérante des grands éboulements et des glissements à grande distance qui sont si fréquemment la suite de l'ouverture des tranchées dans les coteaux en pente douce des terrains argileux. Pour arrêter de pareils mouvements ou pour les prévenir, nous ne croyons pas qu'il y ait d'autre moyen d'étayer les massifs dont on affaiblit le pied en y creusant une tranchée que de suppléer par un contre-fort artificiel à la poussée naturelle des terres que l'on a enlevées. Aussi d'habiles ingénieurs n'ont-ils pas hésité à construire au pied des talus de déblai ouverts dans les terrains glaiseux des murs de soutènement à pierres sèches fort épais, qui, tout en assainissant le terrain supérieur, pussent rétablir par leur masse l'équilibre dont les conditions avaient été profondément modifiées par l'ouverture de la tranchée. Ces murs de soutènement n'ont du reste pas besoin de s'élever au niveau du sol naturel : il suffit que leur hauteur permette d'adoucir convenablement les talus, eu égard à la nature des terrains dans lesquels la tranchée est ouverte. »

Nous ne sommes pas entièrement de l'avis de M. Chaperon; nous pensons bien, comme lui, que la rupture d'équilibre des masses produite par l'ouverture des grandes tranchées tend à produire les éboulements; mais nous reconnaissons aussi la grande influence des causes signalées par M. Sazilly. Les faits prouvent assez cette influence.

Procédé Sazilly et murs au bas des talus. — Le procédé Sazilly et celui des collecteurs, appliqués dans un grand nombre de cas au chemin de Paris à Strasbourg, au chemin du Nord, au chemin de Wissembourg et au chemin de Mulhouse, ont généralement donné

de bons résultats. Celui que préconise M. Chaperon, au contraire, appliqué dans la tranchée de Gagny, concurremment avec le procédé Sazilly, a été l'occasion de dépenses considérables, et chaque jour il faut réparer à grands frais les murs de soutènement, qui ne résistent qu'imparfaitement à la pression des terres, malgré leurs dimensions considérables.

Si, d'ailleurs, les murs en pierre sèche de la tranchée de Gagny (fig. 25) soutiennent plus ou moins parfaitement le talus, ils n'en préservent pas la surface des influences atmosphériques, et il faut pour cela le recouvrir d'une chemise en terre pilonnée et gazonnée. Ces murs ne pourraient enfin empêcher le glissement du terrain supérieur sur la glaise que dans le cas où la surface de contact serait plus inclinée que nous ne l'avons indiqué.

On a dit que le procédé Sazilly était inapplicable dans un grand nombre de cas. Il est vrai que, l'eau affluant en grandes masses et sur toute la hauteur du talus, il cesse d'être efficace. Mais, si dans d'autres circonstances il n'a pas toujours réussi, cela tient sans doute au peu d'expérience de ceux qui l'ont employé.

Les murs placés dans le bas du talus ne pouvant empêcher les éboulements qu'autant que le terrain a été préalablement presque entièrement desséché, il ne convient de les employer que concurremment avec un système plus ou moins parfait de drainage. On peut alors en diminuer beaucoup l'épaisseur, et même, le plus souvent, les supprimer tout à fait.

Murs en revêtement. — Le procédé indiqué page 417 et représenté figure 24 est infaillible dans le cas de dégradations superficielles ou d'éboulements de masses de peu d'importance. Mais il est coûteux, et il manquerait d'efficacité, si la surface de glissement des terres se trouvait au-dessus de la banquette *b*. Cette banquette, dans tous les cas, doit avoir une inclinaison en sens inverse du talus : autrement elle glisserait dans le fossé.

Filtre général. — Le filtre général est d'un bon effet ; mais le procédé est coûteux. On peut en dire autant des éperons en pierre sèche, si la pierre concassée n'est pas très-abondante, comme par exemple dans le cas où elle provient du creusement de la tranchée elle-même. On reproche, en outre, à ces éperons, quand ils ne se

prolongent pas jusqu'à la crête du talus, de s'obstruer par l'infiltration des eaux boueuses provenant de la surface qui leur est supérieure.

Pierrée en amont. — Le procédé employé par M. de Regel à la tranchée de Soulz, et par M. Daigremont à celle de Petite-Croix, n'a pas répondu aux espérances qu'on en avait conçues. Il ne peut que s'opposer à l'action des eaux intérieures; mais il ne remédie pas, comme le procédé Sazilly, à l'effet des gelées, de la pluie et de la sécheresse sur les talus. S'oppose-t-il même complètement à l'action des eaux intérieures, cela est fort douteux, après les accidents survenus aux talus de la tranchée de Soulz, accidents dont nous parlerons plus loin, et à ceux de plusieurs tranchées du chemin de Mulhouse assainies par cette méthode.

Les terres pilonnées avec lesquelles on comble la grande tranchée d'assainissement en amont au-dessus des pierrées sont souvent traversées par les courants d'eau, et le massif compris entre la tranchée d'assainissement et la tranchée du chemin de fer, n'étant qu'imparfaitement asséché, se détache. Quant à la dépense, elle peut être modérée, quand le fossé d'assainissement en amont n'est pas d'une grande profondeur, comme à la tranchée de Petite-Croix; mais elle augmente rapidement avec la profondeur. Peut-être préviendrait-on les filtrations, et par suite l'éboulement du massif, en revêtant les parois du fossé d'assainissement du côté du massif avec un corroi en glaise d'épaisseur convenable. Reste à savoir s'il serait facile d'empêcher qu'il ne se forme dans ces corrois des fissures par lesquelles l'eau filtrerait.

Drain en amont. — Au chemin du Nord, les eaux de surface pénétrant dans le terrain à une certaine distance de la crête du talus d'amont et parvenant souterrainement jusqu'à la surface de ce talus, on a placé avec avantage des drains longitudinaux parallèles au chemin à de petites profondeurs, en les mettant en communication avec les fossés latéraux à la voie par des drains inclinés comme ceux qui servent de décharge au grand fossé de drainage de la tranchée de Petite-Croix (fig. 56).

Le drainage de la plate-forme, tel que l'a décrit M. Daigremont, a donné partout de bons résultats.

Assainissements souterrains. — Les assainissements souterrains (dalot-filtre), dont nous avons parlé page 458, ont bien réussi; mais il faut en établir autant qu'il y a de couches perméables, ou leur donner une grande hauteur si les couches sont voisines, ce qui, dans certains cas, devient très-couteux.

Méthode des collecteurs. — Il nous reste à parler du procédé d'assainissement par voies de collecteurs.

Ce procédé est fondé sur le même principe que le procédé Sazilly. Il n'en diffère essentiellement que par la réunion des eaux de toute la tranchée dans un seul collecteur et par la substitution des tuyaux de drainage aux pierrées.

La recommandation que fait M. de Sazilly d'établir les pierrées suivant la direction des couches aquifères ne peut s'appliquer que sur les points où le talus présente réellement des alternances un peu apparentes de couches diversement perméables. Mais dans les puissantes formations marneuses, telles que celles que l'on trouve sur le chemin de Blesmes à Gray, ces alternances ne sont plus reconnaissables : toute la masse paraît également détremée, ou bien les points où les suintements sont le plus abondants se fondent sans transition sensible avec le reste du talus. C'est ce qui a conduit à dessécher par les collecteurs toute la surface du talus en rapprochant seulement davantage les drains dans les parties les plus humides.

L'emploi du collecteur central, fait observer M. Ledru, a ce grand avantage d'absorber immédiatement toutes les eaux qui séjournent ordinairement dans les tranchées argileuses; les drains qui débouchent souterrainement dans ce collecteur sont immédiatement à l'abri de toute obstruction et de toute avarie. L'assèchement des talus est immédiat et complet, et les sablons sont peu détremés par les eaux, ce qui est très-important pour la confection des remblais. Le collecteur assèche le fond de la tranchée et assure au ballast une assiette ferme et sèche là où autrement on aurait eu à le répandre sur une aire de boue.

Enfin, lorsque les eaux suintent à la surface du talus par une multitude de petites ouvertures, la gelée peut facilement obstruer ces issues, l'eau s'accumule derrière, et, au dégel, il peut en résul-

ter des éboulements dans les talus. Lorsque toutes les eaux de la tranchée débouchent souterrainement dans un collecteur unique, elles forment généralement une source qui coule d'une manière continue avec assez d'abondance pour être à l'abri de toute obstruction produite par l'action de la gelée. D'ailleurs, le débouché unique du collecteur est placé à 1^m,50 au moins en contre-bas du niveau de la plate-forme des terrassements et au delà de l'extrémité de la tranchée; il est facile d'en prévenir l'engorgement, et, cet engorgement eût-il lieu, il ne pourrait avoir aucune suite fâcheuse, puisque le collecteur débouche dans un fossé spécial ouvert à la surface du terrain naturel.

Quant à l'engorgement souterrain du collecteur, il n'est pas à craindre lorsque ce collecteur, fait avec des drains de 85 millimètres de diamètre, est recouvert d'une couche de pierres sèches suffisante pour assurer l'écoulement de l'eau par les interstices dans le cas même de l'obstruction du drain lui-même.

M. Ledru prétend que, même dans les terrains où l'eau ne se présente que sous forme de sources plus ou moins abondantes, le procédé des collecteurs doit être préféré au procédé Sazilly. Les pierrées, dans le système Sazilly, dit-il, suivant les inflexions des couches pour aboutir à une pierrée placée suivant la ligne de plus grande pente du talus, s'engorgent plus facilement que les collecteurs, tous établis aujourd'hui suivant cette ligne de plus grande pente, et il appuie son opinion sur les obstructions de pierrées suivies d'éboulement qui ont eu lieu récemment à la tranchée de Dampmart (chemin de Strasbourg), assainie par le procédé Sazilly. Nous pourrions toutefois citer un grand nombre d'autres tranchées desséchées par le même procédé, et où le même effet ne s'est pas produit. Nous devons ajouter aussi qu'à la tranchée de Dampmart le procédé Sazilly a été appliqué à des terrains déjà en mouvement.

Procédé Lalanne. — Le mode de drainage de M. Lalanne a réussi sur tous les points du chemin de Blesmes à Gray ou du chemin de l'Ouest (Suisse) où il a été employé.

Il a l'avantage d'assécher le talus plus profondément que les drainages ordinaires; il n'exige aucun transport de matériaux que celui des drains eux-mêmes; il est partout d'une exécution facile et ne gêne

en rien les travaux du chantier. On peut proportionner l'espace-ment des trous, et, par conséquent, la dépense, à l'effet produit par chacun d'eux, et au plus ou moins d'humidité de chaque partie du talus. On peut toujours facilement intercaler de nouveaux tuyaux là où apparaissent des suintements non constatés primitivement.

Ce procédé toutefois nous inspirerait moins de confiance que le procédé Sazilly ou celui des collecteurs pour des terrains renfermant des sources abondantes ou imprégnés d'eau dans toute leur étendue. Il ne peut être appliqué qu'à un terrain vierge ne présentant aucunes traces de glissement, car le moindre mouvement interromprait immédiatement la continuité des drains. Enfin, il faut que les drains, pour être efficaces, soient très-rapprochés, et que chaque drain corresponde à un caniveau gazonné sur le talus, ce qui est coûteux et rend les obstructions par la gelée ou par toute autre cause d'autant plus redoutables que les débouchés sont plus multipliés.

Résumé. — En résumé, tous les travaux de consolidation des terrassements se rapportent à trois systèmes différents.

Dans le premier, on cherche à contrebuter la poussée des terres qui tendent à glisser, par l'établissement de masses résistantes suffisantes pour rétablir l'équilibre rompu. (Méthode fig. 25.)

*Dans le deuxième, on cherche à intercepter les eaux qui détrem-
pent les terres des talus, et à les détourner parallèlement à la tran-
chée pour les faire écouler par ses extrémités ou par des caniveaux
transversaux (Méthode fig. 50.)*

*Dans le troisième, on s'applique à aspirer en quelque sorte les
eaux intérieures, et à faciliter leur écoulement par la voie la plus
directe. (Méthodes Sazilly, Ledru, du filtre général et des éperons.)*

En application, ces différents systèmes sont souvent combinés ensemble, et donnent lieu à beaucoup de systèmes mixtes qui peuvent presque tous réussir quand ils sont appliqués avec intelligence; mais qui peuvent également tous échouer quand ils sont mal appliqués; de là vient la divergence des opinions au sujet des travaux de consolidation des terrassements.

Quel que soit le système adopté, on doit toujours, pour réussir, en baser l'application sur les deux principes suivants :

1° *Les eaux ne tendent pas à produire d'éboulement en passant*

à travers un sol dans lequel leur écoulement est facile et continu et peut se faire sans pression; mais il en est tout autrement lorsque leur écoulement est arrêté, ou même seulement difficile, et ne peut se faire que sous une pression plus ou moins forte.

Alors elles s'accumulent, pénètrent plus ou moins la masse du sol, le détrempe, et produisent des éboulements.

*Les plans de glissement ne préexistent pas dans les masses ébou-
lées; ils se forment par l'effet de l'infiltration lente entre deux cou-
ches argileuses des eaux privées d'un écoulement suffisamment facile.*

*2° Les éboulements ne sont pas toujours la conséquence de glis-
sements; ils proviennent souvent aussi de l'action des agents at-
mosphériques sur les couches mises à nu.*

*3° Un terrain donné pourra tenir sous un talus d'autant plus
roide que son assèchement sera plus parfait, que les eaux qui le
pénètrent dans la saison pluvieuse auront un écoulement plus facile;
mais, dans chaque circonstance particulière, il y a une inclinai-
son de talus qui ne peut pas être dépassée sans danger.*

Toutes les fois qu'une tranchée est ouverte dans un terrain peu consistant et plus ou moins détrempe, on rompt les conditions d'équilibre sous lesquelles la masse se tenait en repos.

Pour rétablir cet équilibre, il faut à la fois assurer le libre écoulement des eaux qui détrempe la masse du talus, et donner à ce talus une inclinaison en rapport avec la nature du terrain et son degré plus ou moins complet d'assèchement, ou bien compenser l'insuffisance d'inclinaison du talus par l'établissement d'une masse résistante assez considérable pour faire équilibre à l'excédant de poussée du talus.

Il résulte de là que :

Le premier système, celui des murs de soutènement, ou des revêtements en pierre, devient extrêmement onéreux lorsqu'il n'est pas combiné avec un système rationnel d'assèchement capable de diminuer dans une forte proportion la poussée des terres.

Le troisième système, celui des assèchements directs avec écoulement libre à la partie inférieure, produit à la fois un plus libre écoulement des eaux intérieures, et l'assèchement à peu près complet des parties de la masse coupées par les drains, les pierrés, les

éperons, ou recouvertes par un filtre; mais il ne réussit qu'à la condition de donner aux talus une inclinaison telle, que la masse intérieure puisse prendre un équilibre stable sous la double influence de l'écoulement plus libre des eaux qui l'imprègnent et de la résistance de la portion de la masse complètement asséchée par des drains et pierrées qui la coupent, ainsi que de la résistance de ces pierrées elles-mêmes : cette portion de la masse consolidée remplit alors le même office qu'un mur de soutènement.

Le deuxième système, celui des grandes pierrées parallèles à la tranchée, peut aussi remplir le double office de faciliter l'écoulement des eaux qui imprègnent la masse intérieure, et de consolider le prisme compris entre la pierrée et le talus de la tranchée; mais il exige toujours un adoucissement convenable du talus; il est d'une exécution plus difficile que les autres, et offre plus de chances d'obstruction intérieure. Alors les eaux s'accumulent dans la pierrée, pénètrent par pression dans la masse extérieure et provoquent alors un éboulement infaillible.

Nous serions par conséquent peu disposé à employer les fossés en amont, et nous ferions usage des autres procédés isolément ou en les combinant ensemble, suivant les circonstances. *Quel que soit, du reste, le procédé employé, il est essentiel de ne pas attendre que le terrain se soit déplacé pour en faire usage, et même de l'appliquer, autant que cela peut se faire, au fur et à mesure que l'on découvre des surfaces de talus d'une certaine étendue.*

Les mêmes principes s'appliquent à la consolidation des remblais et des sous-sols sur lesquels les remblais reposent; il faut toujours assurer le libre écoulement des eaux, et augmenter dans une proportion convenable la résistance à la poussée ou à la simple pression des terres.

L'art du bon ingénieur est de discerner dans chaque cas les meilleures dispositions de détail à adopter d'après les circonstances dans lesquelles il se trouve et les matériaux dont il dispose. Nous ne saurions lui prescrire des règles absolues.

Les principes généraux, du reste, ne suffisent pas pour exécuter économiquement de bons travaux de consolidation; il faut encore une certaine expérience de ce genre de travaux.

Reconstruction des talus éboulés dans les tranchées. — Quelquefois, lorsqu'on a négligé d'assainir les talus ou quand les travaux d'assainissement n'ont pas été exécutés convenablement, des portions de talus plus ou moins considérables s'éboulent, et il faut le reconstruire. On suit pour cela différentes méthodes dont nous allons chercher à donner une idée nette.

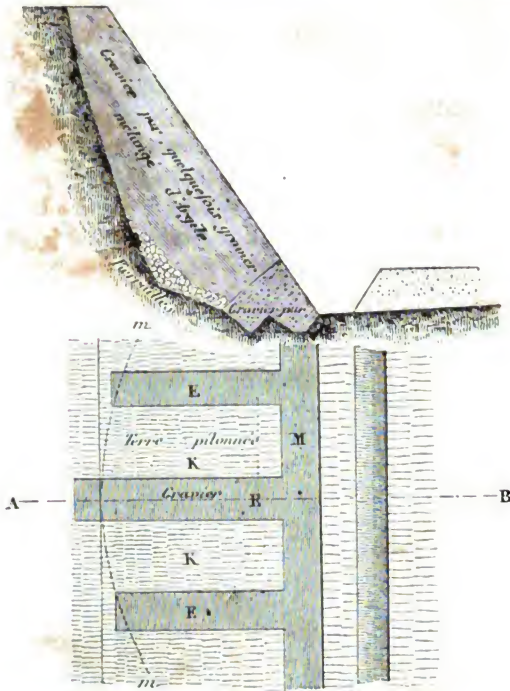


Fig. 59.

La figure 59 représente une première méthode employée sur le chemin de Londres à Birmingham.

Les lignes courbes de la coupe et *m m* du plan représentent la surface d'éboulement. En avant de ces lignes on trouve le talus re-

construit. Le mur est en pierres sèches pour en soutenir le pied et laisser couler les eaux; les éperons en pierres sèches E E livrent passage aux eaux et divisent le talus en masses indépendantes K K, composées de bonnes terres pilonnées et maintenues en place par le frottement.

M. de Sazilly, dans son Mémoire sur les travaux d'assainissement et de consolidation de talus, prescrit, en cas d'éboulement, d'enlever toutes les terres en mouvement. Il n'admet aucune exception à cette règle. S'il fallait réellement enlever toujours ainsi les terres éboulées, les travaux de consolidation deviendraient, dans certains cas, énormes et excessivement coûteux; mais, ainsi que l'observe avec justesse M. Bruère, cette opération, dans la plupart des circonstances, n'est nullement nécessaire. Il ne faut enlever la totalité des terres éboulées, dit M. Bruère, dans les notes qu'il a bien voulu nous fournir, que si l'éboulement est peu considérable; on reconstruit alors le talus comme l'indique la figure 60, qui reproduit un



Fig. 60.

travail exécuté à la tranchée de Briel sur le chemin de Mulhouse, le fond des glacis se trouvant au-dessus du fond de la tranchée, ou comme le montre la figure 61, si le fond du glacis est en contre-bas du sol de la tranchée¹.



Fig. 61.

Si la largeur de l'éboulement est considérable, et si la pente in-

¹ Voir page 207 la description des travaux de ce chemin.

érieure des glacis a une pente moindre que $0^m,20$ par mètre, il devient inutile d'enlever toutes les terres ébouées.

Les figures 62 et 65 représentent le talus reconstruit dans deux cas différents. Le premier est celui où, la masse des terres ébouées n'étant pas considérable et la pente du glacis étant faible, il n'est



Fig. 62.

pas nécessaire de soutenir les terres ébouées. Le second est celui où, au contraire, les terres ébouées se trouvant en grandes masses et reposant sur un glacis incliné, il faut les appuyer contre un massif inébranlable.

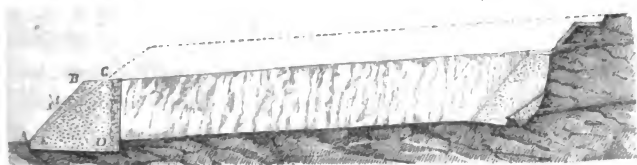


Fig. 65.

On donne à ce massif ABCD une épaisseur plus ou moins grande, suivant que la pression est plus ou moins forte, et on a soin de ménager un écoulement aux eaux qui pourraient pénétrer dans la masse ébouée. Il est inutile aussi de mettre de distance en distance la pierre en arrière du massif ABCD en communication avec le fossé qui longe le chemin de fer à l'aide de pierres transversales qui traversent le massif ABCD.

Nous avons parlé d'accidents qui étaient survenus à la tranchée de Soultz et qui avaient nécessité la reconstruction de certaines parties des talus. La note suivante, emprunté à un rapport de M. Goschler, ingénieur principal au chemin de fer de l'Est, qui a lui-même fait exécuter cette reconstruction, indique les moyens employés pour rétablir le talus.

« C'est au commencement de septembre 1854 que la tranchée dite d'assèchement établie en amont de la tranchée de Soultz a été terminée.

« A ce moment-là, il n'y avait d'éboulement bien sérieux que celui au piquet 164, à l'entrée de la tranchée vers Wissembourg; la tranchée était à profondeur et à largeur dans cette partie-là.

« Cet éboulement consistait en un massif de 50 mètres de longueur, détaché sur 15 mètres environ de largeur, glissant sur un banc de glaise ayant une pente de 0^m,18 par mètre.

« Comme on comptait sur les effets de la tranchée d'assèchement et qu'on espérait voir s'arrêter les mouvements de ce massif, on s'est contenté de combler la fissure produite en pilonnant des terres avec soin.

« On établit aussi en amont et parallèlement à la fissure une banquette en revers d'eau destinée à détourner les eaux pluviales qui auraient pu s'introduire dans les terres disloquées du massif en mouvement et reproduire le glissement. On continuait toujours à mettre la tranchée à fond suivant le profil modifié, quand, après une série de jours de pluie, le massif s'est remis en mouvement et glissa jusque dans la tranchée; le mode suivi pour arrêter cet éboulement a été de remanier le massif par zones transversales de

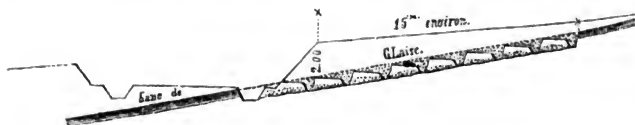


Fig. 64.

5 à 8 mètres de longueur, en rétablissant l'horizontalité du banc de glaise par banquettes de 2 mètres de largeur (fig. 64); ces banquettes étaient à peu près parallèles à la fissure, avaient une légère pente opposée à celle du banc de glaise, aboutissant à une rigole empierrée pour rendre les eaux à d'autres rigoles normales à la tranchée et communiquant avec le fossé du chemin de fer.

« La glaise extraite des banquettes a été enlevée et mise en dépôt;

la bonne terre seule a été employée pour combler l'éboulement. Ce travail a été exécuté par zones ou parties pour éviter les grands mouvements de terre.

« Ce même travail a été fait sur 60 mètres de longueur; le résultat a été très-bon, il n'y a eu aucun mouvement nouveau dans cette partie-là.

« A la suite de l'éboulement dont il vient d'être question (au profil 165), le banc de glaise a pris, et presque subitement, une inclinaison beaucoup plus forte, c'est-à-dire une pente de 0^m,60 à 0^m,70 par mètre. Dans cette partie, il n'apparaissait aucune partie de glaise dans le talus ni dans le fond de la tranchée; on croyait n'avoir aucun éboulement à craindre; ce n'est que lorsque la tranchée a été tout à fait à fond et les fossés ouverts que l'éboulement s'est manifesté; le poids du massif en mouvement sur une pente aussi forte a soulevé et déplacé le fond de la tranchée.

« Deux autres éboulements, au profil 162 et au profil 162^a, sont dans les mêmes conditions que le précédent, et ont été réparés et garantis de la même manière en faisant un caniveau *b* (fig. 65) au

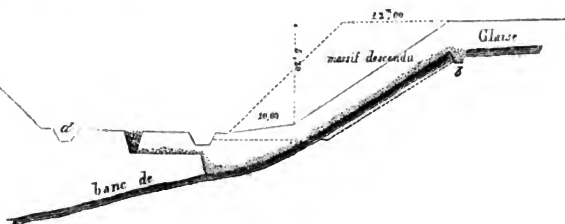


Fig. 65.

haut du banc de glissement, et en recouvrant celui-ci d'un matelas général de gravier que l'on prolongeait au-dessous du plafond de la tranchée jusqu'aux terres éboulées. Comme le niveau des fossés ordinaires du chemin de fer était beaucoup au-dessus des points d'où sortent les eaux, on a établi une rigole profonde et empierrée dans l'axe de la tranchée qui aboutit au piquet 159 pour se jeter dans la Saltzbach.

« Cette rigole, qui reçoit les eaux de ces trois éboulements 165^a,

162^a et 162, et de deux bouches de la grande tranchée d'assèchement, donne encore aujourd'hui 800 à 900 litres d'eau par heure. Au profil 165, sur 75 mètres environ de longueur, l'éboulement s'est produit sur 1^m,50 de hauteur et aussi par glissement; en cet endroit la couche de glaise est à peu près parallèle à la surface du sol; le massif glaiseux, haut de 4 mètres environ au-dessus du fond de la tranchée, est partagé dans toute sa hauteur par des couches de sable de 0^m,05 à 0^m,20 d'épaisseur.

« Le massif paraît être en communication avec la tranchée d'assèchement, car, aussitôt que le caniveau (*a*) a été fait sur la couche supérieure (où s'est produit le glissement), il n'y a plus eu d'eau apparente dans les diverses couches de sable et de glaise qui composent ce massif; la tranchée a conservé son profil normal sur la longueur et la hauteur du massif.

« Je crois que les eaux pluviales, qui sont tombées dans l'espace de 15 mètres au moins de largeur moyenne compris entre l'arête supérieure du talus et la tranchée d'assèchement, ont contribué à une partie des éboulements. Quant aux éboulements des profils 165^a 162^a et 162 (fig. 66), leur cause est suffisamment expliquée

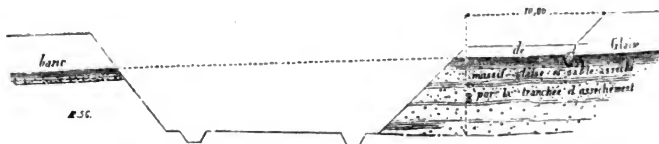


Fig. 66.

par l'inclinaison extraordinaire de la couche de glaise : cette couche de glaise, n'étant mise à jour sur aucun point bas, a pu conserver assez d'eaux anciennes pour donner à la surface de la glaise toute l'onctuosité qui a provoqué le glissement. »

Construction des remblais. — Les remblais des routes et des canaux s'exécutent ordinairement par couches successives que l'on prescrit quelquefois de pilonner, et qui, dans tous les cas, sont comprimées par les roues des tombereaux et par les pieds des chevaux.

Sur les chemins de fer, il serait trop long et trop dispendieux

d'élever de grands remblais par couches pilonnées ou même simplement au moyen de tombereaux sans pilonage : ces grands remblais, si ce n'est dans certains cas particuliers, se font en masse sur toute la hauteur à la fois, c'est-à-dire qu'une petite portion de remblai, voisine de la tranchée, étant achevée sur toute la hauteur, on la continue en déposant des terres à l'extrémité jusqu'à la crête. Ce n'est qu'en procédant de cette manière que l'on peut employer le chemin de fer au transport des terres ; la pose de la voie se fait alors sur le remblai au fur et à mesure de son avancement, et les wagons de terrassement viennent se décharger à l'extrémité de la voie, qui est aussi celle du remblai.

Il n'est ici question que de remblais qui, étant d'une grande hauteur, sont aussi d'une certaine longueur ; car, lorsque la terre n'est portée en remblai qu'à une petite distance, il est souvent plus économique de se servir, pour les terrassements, de tombereaux que de wagons. Les remblais exécutés au tombereau sont d'ailleurs plus divisés et sujets à de moins grands tassements que ceux exécutés avec des wagons. Il ne faut pas oublier, d'un autre côté, que l'emploi des tombereaux devient souvent impossible dans certains terrains après de grandes pluies, tandis que le service des wagons ne souffre aucune interruption.

Quand les remblais sont conduits avec précipitation et par masses d'une grande hauteur au-dessus et autour des ouvrages d'art, il arrive fréquemment que les maçonneries se fendent ou se gauchissent. Ils doivent donc être faits dans ce cas avec beaucoup de précaution, être montés en même temps des deux côtés des voûtes en maçonnerie, et étendus uniformément sur ces voûtes par couches pilonnées d'environ 25 centimètres d'épaisseur.

Remblais sur terrains compressibles. — Lorsque de grands remblais reposent sur des terrains compressibles, il est nécessaire d'employer des précautions analogues pour ne pas écraser le terrain ni le rompre en chargeant tout d'un coup certains points d'une masse excessive.

Il convient aussi, lorsque ces terrains compressibles sont composés de couches inclinées qui peuvent glisser les unes sur les autres, de commencer le remblai en descendant les terres dans le

fond de la vallée au moyen de tombereaux, au lieu de le monter immédiatement à hauteur, au sortir de la tranchée, avec les wagons. Mais ces précautions ne suffisent pas toujours pour empêcher l'affaissement du sol, lorsque le remblai est parvenu à une certaine hauteur. Un des moyens les plus simples de prévenir cet affaissement autant que possible est d'élargir la base du remblai, de manière à diminuer la pression sur l'unité de surface autant que la compressibilité du sol l'exige. Les grands remblais, malgré cette précaution, pénètrent encore à une assez grande profondeur dans le sol. Ainsi, au chemin de Mulhouse, le grand remblai de la Meance près Provins, cubait 500,000 mètres cubes, et haut de 15 mètres au maximum, a pénétré de 5 mètres dans le sol. Le cube enfoui est d'environ 200,000 mètres cubes, soit $\frac{2}{5}$ mètres environ du cube total.

Lorsque le terrain, aux abords des remblais, est couvert de constructions ou qu'il est très-précieux, ce procédé serait trop dispendieux. On peut rendre le terrain incompressible en le desséchant (remblais sur le chemin de Munich à Augsbourg¹), ou encore on diminue le poids du remblai en le composant de matériaux légers et qui laissent entre eux des vides (remblais aux abords du pont de Cubzac). Le dessèchement du sol s'opère au moyen de rigoles, pierres, aqueducs, puits absorbants, etc., etc.

Au chemin de Blesmes à Gray, on a desséché avantageusement le sous-sol, au moyen de tuyaux de drainage établis sous le remblai perpendiculairement à son axe. Ces tuyaux, plus ou moins espacés, suivant la nature du terrain, débouchaient tous dans un grand collecteur placé en dehors de la base du remblai et emmenant les eaux à une distance plus ou moins grande de cette base.

Remblai sur terrain glissant. — Au chemin de fer de Versailles (rive gauche), l'ingénieur en chef, M. Bergeron, a arrêté le glissement d'une couche de glaise sur laquelle était placé un grand remblai (fig. 67) par un procédé fort ingénieux que nous allons décrire.

Les eaux d'infiltration et de sources qui remplissaient une couche de sable et de gravier, au-dessus d'un banc très-épais d'argile plas-

¹ Voir page 224 la description des travaux de ce chemin.

tique, rendaient le sous-sol glissant et compressible. Malgré un grand nombre de tentatives, il avait été impossible de terminer le remblai projeté, et la traversée du Val-Fleury s'est faite à l'aide de deux estacades en charpente reliant les deux culées du viaduc au flanc du coteau. Après sept années d'usage, les estacades n'offrant plus assez de sécurité pour le passage des trains du chemin de fer,

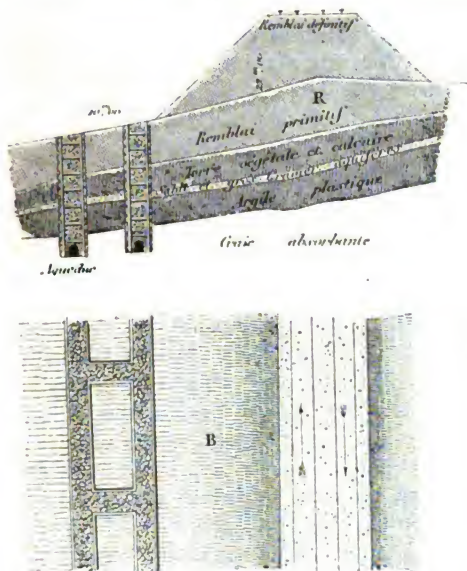


Fig. 67.

il a fallu revenir au projet définitif et employer des moyens convenables pour rendre le sous-sol résistant. Ce but a été atteint par deux pierrées parallèles à l'axe du chemin, espacées de 10 mètres, régnant sur toute la base du remblai, et creusées verticalement au moyen de blindages et d'étrésillonnements jusqu'à 12 ou 15 mètres de profondeur. Ces deux pierrées étaient reliées entre elles par des pierrées transversales. En quelques points, la couche d'argile plastique avait plus de 8 mètres d'épaisseur.

Les eaux se sont écoulées, par de petits aqueducs établis au fond et le long de toutes les tranchées, jusque dans un puisard général creusé profondément dans la craie absorbante, où elles ont disparu.

Les pierrées ont produit un resserrement dans la couche aquifère au-dessus du banc d'argile, et tout le massif, de 10 mètres d'épaisseur, compris entre les tranchées parallèles, s'est trouvé complètement asséché, et a agi comme mur de soutènement pour contenir le glissement du terrain supérieur.

C'est au moyen de ce procédé que les estacades du Val-Fleury ont pu être remplacées par le remblai définitif, très-élevé, sur lequel passe aujourd'hui le chemin de fer de l'Ouest.

Remblais glaiseux. — Sur le même chemin, près la station de Sèvres, un remblai en argile, exécuté par un temps humide, tendait sans cesse à s'écraser. Malgré le soin qu'on avait pris de pilonner les couches de glaise, des affaissements brusques avaient eu lieu fréquemment, et plusieurs fois il avait fallu déplacer l'axe du chemin de fer. On a employé alors avec succès, dit M. Bergeron, des boulons en fer traversant tout le remblai à 2 mètres environ au-dessous de la voie de fer, et terminés à leurs extrémités par des plateaux en bois de chêne, contre lesquels venaient s'appuyer les terres glissantes. Ces boulons faisaient alors l'effet des boulons en fer que l'on pose dans les édifices pour relier deux murs verticaux qui tendent à s'écarter. Cependant, après plusieurs années, ce remblai boulonné a encore éprouvé des glissements à sa partie inférieure, et l'on y a définitivement remédié, d'un côté, par une pierrée semblable à celle du viaduc du val Fleury, et, de l'autre, par une ligne de pieux et planches jointifs enfoncés, au moyen de la sonnette, tout le long de la base de la portion glissante du remblai, comme l'indique la figure 68.

L'emploi des plateaux boulonnés nous paraît coûteux et peu efficace dans le cas d'un mauvais terrain. Celui des planches en amont du remblai semble aussi devoir difficilement s'opposer au glissement de grandes masses de terrain.

Les remblais composés de terres glaiseuses, lors même qu'ils reposent sur des terrains incompressibles, sont sujets à s'affaisser ou à s'ébouler. Il faut, pour les contenir, bien dessécher la glaise et la

préservé en même temps de l'effet des eaux pluviales et de celui des eaux de source. On arrête les eaux pluviales en enveloppant le remblai d'une couche de bonne terre pilonnée avec soin, de telle façon que l'intérieur seul soit de glaise, et l'on détourne les eaux de source du pied du remblai au moyen de fossés, d'aqueducs ou d'autres travaux du même genre.

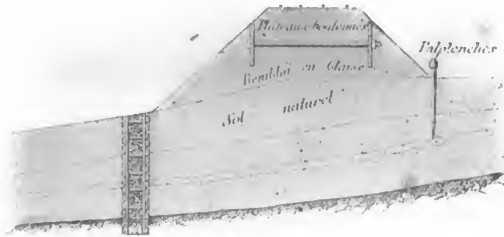


Fig. 68.

Au chemin de Versailles, M. Delasserre a intercalé avec succès des couches de sable entre les couches de glaise pilonnées. Des ingénieurs d'une grande pratique condamnent toutefois cette manière d'opérer. C'est à tort, disent-ils, que l'on croit faire de bons remblais en les composant de couches alternatives de sable et de glaise. Il vaut mieux qu'un remblai soit ou complètement argileux, ou bien composé d'un mélange intime de sable et de glaise, car les couches sableuses interposées ne restent pas horizontales; elles s'inclinent par suite des tassements inégaux du remblai, et, devant aquifères, glissent sur les masses argileuses. La plupart des éboulements de remblais ne proviennent que de l'emploi de terrains de nature ou de consistance différentes.

Causes des éboulements des remblais. — Les talus des remblais aussi bien que ceux des tranchées s'éboulent quelquefois après l'achèvement du remblai. Voici quelles sont les causes des éboulements et les moyens employés pour y remédier.

Les éboulements de remblais sont souvent occasionnés par l'interposition de couches perméables de sable ou de boue (fig. 69 et 70).

Le sable provient de couches accidentelles existant dans le terrain déblayé, la boue provient des cunettes.

Dans d'autres cas, les éboulements doivent être attribués à la différence de nature des terres qui composent le remblai, les unes perméables C D, les autres imperméables A B (fig. 69).

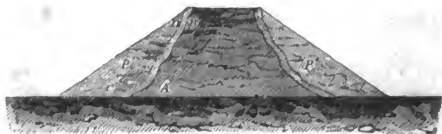


Fig. 69.

Les remblais au wagon se composent généralement de terres déposées de deux manières et à deux reprises différentes. Le noyau du remblai est formé d'abord avec des terres transportées au moyen

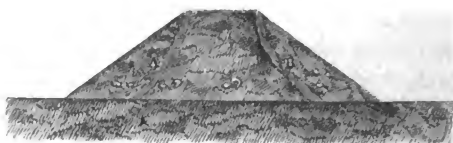


Fig. 70.

des wagons qui se déchargent en avant; ces terres, extraites dans les cunettes, contiennent proportionnellement plus de parties argileuses que celles qui forment les prismes latéraux du remblai; celles-ci sont transportées avec des wagons au moyen desquels elles sont déchargées ensuite sur les côtés.

La partie centrale du remblai est ainsi composée d'un terrain plus imperméable que celui des prismes latéraux, en raison de ce qu'il contient plus de parties argileuses à volume égal et du tassement qui s'est déjà produit par le temps et le passage de wagons avant qu'on ait déposé les prismes A et B (fig. 70).

Quelle que soit la composition du remblai, il est évident que l'action de l'eau sera ici, comme dans les tranchées, la cause principale des éboulements. Les eaux traversant les couches perméables

de sable ou de boue descendent jusqu'à la base, y ramollissent les terres et déterminent ainsi l'éboulement des prismes P et P' (fig. 69); ou bien, si la composition du remblai se rapproche de celle indiquée figure 71, il se produit des crevasses entre les terres de densité différente, et c'est par ces crevasses que l'eau s'introduit dans le corps du remblai.

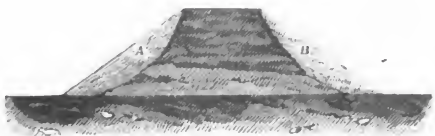


Fig. 71.

De ce qui précède il résulte que les remblais faits au tombereau sont moins sujets à s'ébouler que ceux faits au wagon, et qu'il serait fort sage de mettre de côté les portions sableuses et les boues des cunettes; mais le remblai, s'il est fait au wagon, n'en restera pas moins composé ordinairement de terres de densité différente, celles qui forment le noyau et qui sont déposées par les wagons versant devant, et celles jetées latéralement par les wagons versant de côté. On prévient les éboulements en établissant de chaque côté du remblai un contre-fort en terre végétale ou sablonneuse séparé du remblai par un empierrement (fig. 72).

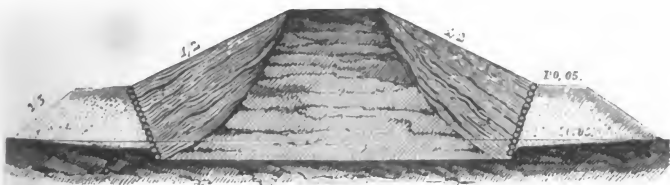


Fig. 72.

Réparation des éboulements. — Il est plus difficile de réparer les éboulements que de les prévenir.

Pour réparer le talus, on n'enlève les terres ébouées que sur la largeur d'une bande de terrain nécessaire à l'emplacement d'un

contre-fort B (fig. 75) en terre pilonnée. Ce contre-fort doit être séparé du remblai par une couche de pierres ou de fascines de gravier.

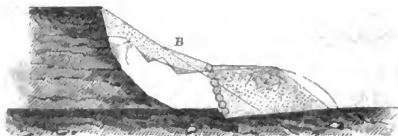


Fig. 75.

Il sera coupé de distance en distance par des saignées transversales remplies également de pierres ou de fascines. Si les terres éboulées sont humides, il convient de prolonger ces saignées au travers de ces terres jusqu'au noyau solide.

Souvent, le remblai s'affaisant, il se forme une espèce de poche au milieu de la glaise éboulée. Il faut alors se hâter de pratiquer dans la glaise des saignées transversales pour donner écoulement aux eaux qui se rassemblent dans cette poche; mais ces travaux ne se font convenablement que dans la belle saison.

Il semble qu'étant obligé de recharger les remblais glaiseux qui s'affaissent de bonne terre ou de ballast de manière à les renouveler, pour ainsi dire, en entier, il eût été plus économique de les composer immédiatement de bonne terre ou même de ballast. Mais on doit observer que généralement, au moment où l'on construit les remblais, les abords sont difficiles, et qu'on n'a pas alors les moyens que fournit plus tard le chemin de fer lui-même d'aller chercher à une certaine distance la bonne terre ou le ballast.

OUVRAGES D'ART.

Les ouvrages d'art sur les chemins de fer ne diffèrent des ouvrages de même nature établis sur les routes ordinaires que par la grandeur de leurs proportions.

De légères passerelles en bois (fig. 74), en pierre ou en métal, sont jetées hardiment sur de profondes tranchées; des ponts en pierre d'une grande portée et d'immenses estacades en charpente, des viaducs gigantesques, supportent les chemins de fer au passage des vallées.

Ponts ou viaducs de différentes natures.

Les ponts ou viaducs sont de différentes espèces : on distingue les ponts en bois, en pierre ou en briques, en fonte et en fer forgé ou en tôle.

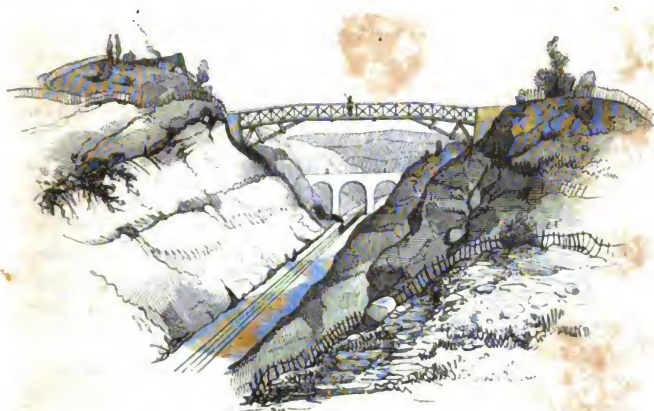


Fig. 174.

Ponts en bois. — *Les ponts ou viaducs en bois sont généralement les plus économiques de construction, mais ils sont les moins durables. Aucun des procédés proposés pour la conservation des bois ne paraît jusqu'à présent en avoir augmenté la durée d'un grand nombre d'années¹. Tous ces procédés sont à l'état d'essai, et la pratique n'a pas encore dit son dernier mot sur leur efficacité, du moins en ce qui concerne les grands ouvrages d'art.*

On trouvera dans le *Nouveau Portefeuille*, dans l'ouvrage de M. Emmerly sur le pont d'Ivry, et dans un Mémoire de M. Couche sur les ponts bavarois², l'indication de certaines précautions à

¹ On essaye depuis peu de temps un nouveau procédé que nous décrirons plus loin, celui de MM. Fleury et Legé-Pirouet, qui paraît devoir s'appliquer aux bois débités pour ouvrages d'art, ce qui n'a pas lieu pour le procédé Boucherie.

² *Annales des Mines.*

prendre pour prolonger la durée des ponts en bois. Mais il est douteux que, même en prenant ces précautions, on puisse les préserver longtemps de la pourriture, surtout sur les chemins de fer, où ils sont fatigués par la trépidation que produit le passage des trains.

La Compagnie du chemin de Rouen s'est vue obligée de remplacer ses nombreux ponts en bois par des ponts en métal, dix ou onze ans après l'ouverture de la ligne, le pont en bois d'Asnières (chemin de Saint-Germain) a disparu après douze années seulement de service, et les ponts du chemin de Versailles (rive droite) ont disparu après huit ou dix années de service seulement.

Les ponts en bois peuvent être construits avec une très-grande rapidité, ce qui, dans certains cas, est un avantage sensible. Ainsi la Compagnie des chemins de fer de l'Est n'a pu réaliser la promesse qu'elle avait faite au gouvernement de lui livrer le chemin de Châlons au camp, long de 24 kilomètres, en deux mois, qu'en employant le bois pour la construction d'un grand pont sur la Marne et de plusieurs viaducs.

Les ponts en bois sont exposés à la destruction par l'incendie. On leur a donné quelquefois la préférence, précisément par cette raison, afin de pouvoir les faire disparaître rapidement en cas de guerre.

« En Allemagne, dit M. Couche ¹, la plupart des ponts construits sur les chemins de fer étaient en charpente, tantôt sur piles en maçonnerie, tantôt sur palées. Une réaction s'est produite aujourd'hui contre l'introduction du bois dans les travaux d'art des grandes lignes. La durée des grands ponts en charpente sur les cours d'eau a été bien souvent au-dessous des évaluations les plus modérées en apparence. On les reconstruit aujourd'hui en pierre ou en métal.

« En Autriche, toutefois, si on renonce au bois pour les ponts considérables, on continue à l'admettre pour les ouvrages d'une importance médiocre. La condamnation prononcée par l'expérience ne s'applique d'ailleurs jusqu'à présent, même pour les grandes

¹ *Annales des Mines.*

ouvertures, qu'aux cas où le tablier doit être placé à une faible hauteur au-dessus de l'eau, et soumis ainsi à l'influence d'une atmosphère constamment humide. Quand il s'agit de franchir des vallées profondes, c'est-à-dire pour les viaducs, la question change de face : d'une part, la décomposition des bois n'est plus favorisée par une cause aussi puissante; de l'autre, la facilité avec laquelle les ouvrages en charpente se prêtent aux plus grandes portées est alors d'autant plus précieuse que la hauteur des piles rend leur construction fort dispendieuse. Restreinte à ce cas, l'application du bois a conservé encore une grande importance.

En Angleterre, suivant M. Bassompierre, ingénieur des ponts et chaussées et ancien ingénieur principal du chemin de Vincennes¹, lorsque la pierre manque et si le fer est loin et rare, les ingénieurs n'hésitent pas devant l'emploi du bois, du moins pour la construction de viaducs sur des vallées sèches. Toutefois ces ouvrages sont ordinairement relégués sur des lignes secondaires, et, autant que possible, sur des lignes affectées spécialement à un trafic de marchandises ou à l'exploitation des houillères ou des usines.

En Amérique, aux États-Unis, au dire de M. Grenier, ingénieur principal du chemin de Strasbourg, on continue à faire emploi, même pour le passage des rivières, sur une grande échelle, d'ouvrages tout en bois ou en bois et fer.

Ponts en pierre. — *Les ponts en pierre sont d'une solidité à toute épreuve et d'une durée indéfinie.* Ils sont, dans un grand nombre de localités, en France et en Allemagne particulièrement, tout aussi économiques pour des portées modérées que les ponts en fonte ou en fer, et peuvent être construits, par les méthodes expéditives usitées aujourd'hui, aussi rapidement que ces derniers.

On en trouve un très-grand nombre sur les chemins anglais, français, belges et allemands. En Angleterre et en Belgique, les ouvrages en briques sont plus communs que ceux en pierre. En Angleterre cependant, on trouve de très-beaux ouvrages en pierre, parmi lesquels nous citerons le magnifique viaduc de Durham, celui de Llangollen et celui de la Boyne à Drogheda.

¹ Rapport à la Compagnie de l'Est.

Ponts en briques. — *Les ponts en briques sont moins solides que ceux en pierre; employée sous forme de prisme rectangulaire, la brique nécessite, pour le remplissage des joints, l'intercalation d'une grande quantité de mortier ou de ciment, dont la résistance est généralement moins grande que celle de la brique elle-même. Sous l'eau les briques, étant poreuses, résistent imparfaitement. On peut, à la vérité, en augmenter la densité, mais alors elles prennent mal le mortier. En général, on ne construit des ouvrages en briques que dans les pays où la pierre est rare.*

Ponts en fonte. — *Les ponts en fonte sont élégants et quelquefois économiques; mais la fonte n'offre pas les mêmes garanties de solidité que le fer forgé. Les grandes pièces présentent souvent des soufflures qui en altèrent la qualité et dont on ne découvre l'existence que lorsqu'elles viennent à rompre. Elles sont moins élastiques que celles en fer, elles ne se prêtent pas aux épreuves avant leur emploi, et le travail de la fonte n'est pas aussi facile à calculer que celui du fer. L'usage en était assez fréquent en Angleterre il y a quelques années; mais, depuis lors, dit M. Bassompierre, la tôle a complètement détrôné la fonte. En France, on continue à établir des ponts en fonte dans certains cas. Ainsi une partie des ponts du chemin de Lyon à la Méditerranée sont en arcs de fonte, établis dans un système propre à M. Émile Martin, de Fourchambault, et l'on a remplacé les ponts en bois du chemin de Rouen par des ponts en fonte dont plusieurs présentent des arches de 50 mètres d'ouverture.*

Les ponts en fonte n'admettent pas la même portée que ceux en fer et ne peuvent être établis avec des poutres droites que pour de petites portées (sept mètres et au-dessous).

On a prétendu que la fonte ne s'altérerait pas comme le fer par les vibrations, mais cela n'est pas démontré.

En Allemagne, l'emploi de la fonte est très-restreint.

Ponts en fer. — *Le principal avantage des ponts en fer ou en tôle rivée est de se prêter à l'emploi de pièces droites, pleines ou évidées, d'une immense longueur et d'une grande durée. Quelquefois économiques, ces ponts sont les seuls possibles lorsque le débouché doit avoir une hauteur constante et être d'une grande largeur.*

La mise en œuvre des tôles rivées¹ a pris, ces dernières années, en Angleterre surtout, un accroissement prodigieux : la construction des navires en fer, des locomotives et des ponts pour chemins de fer en a multiplié les applications à l'infini.

En France, on a aussi adopté les ponts en tôle rivée ; mais un grand nombre d'ingénieurs ne considèrent pas l'expérience faite jusqu'à ce jour des ponts en tôle comme assez concluante pour les substituer aux ponts en pierre, à prix égal et même avec une légère diminution de prix. Ils ne conseillent l'emploi de la tôle que lorsque l'économie est très-grande et que les circonstances rendent l'emploi de la pierre ou de la fonte à peu près impossible. Ils craignent que les ponts en tôle ne se détruisent ou ne se disloquent au bout d'un certain temps par l'oxydation du métal et par le jeu des rivets.

Ponts en fonte et fer. — On a, dans plusieurs ponts ou viaducs importants d'Angleterre, associé la fonte et le fer. Malgré le succès de ces ouvrages, qui supportent sans aucune altération les passages à toute vitesse des trains nombreux qui les traversent, cet emploi déjà si restreint de la fonte n'a pas fait école dans l'art de l'ingénieur. MM. Robert Stephenson, Brunel, Fairbairn et beaucoup d'autres illustrations du corps des ingénieurs anglais repoussent énergiquement une combinaison dont ils contestent les avantages.

Ponts suspendus. — *En France et en Angleterre le principe de la suspension a été constamment rejeté pour les ponts sur lesquels la voie de fer doit passer ; mais il n'en est pas de même aux États-Unis, et les ingénieurs autrichiens se proposent d'en tenter l'application dans quelques ouvrages nouveaux.*

Combinaisons diverses de formes et de matériaux. — On distingue :

Les ponts droits avec parapets rigides en bois et fer.

Id. droits avec supports en bois ou en métal.

Id. ou viaducs en bois ou en bois et fer. — Avec arcs supportant le tablier.

Id. avec arcs placés au-dessus du tablier, en totalité ou en partie, le tablier leur étant suspendu.

Id. droits avec parapets rigides tout en bois (*ponts américains*).

¹ Rapport de M. Bassompierre.

Les ponts ou viaducs en pierre ou en briques. — En plein cintre ou avec voûtes plus ou moins surbaissées.

Les ponts ou viaducs en fonte composés d'arcs ou de poutres.

Les ponts ou viaducs en fer, avec arcs en fer ou en tôle rivée.

— — — avec poutres en fer.

— — — avec tubes en fer (*tubulaires*).

— — — avec treillis en fer.

Les ponts ou viaducs en fer ou tôle et fonte diversement combinés.

— suspendus.

Ponts ou viaducs en bois.

Systèmes divers. — Les différentes espèces de ponts en charpente se subdivisent de la manière suivante :

1° Les ponts dont le tablier repose sur de simples poutres armées ou non armées, ou sur des poutres soutenues par des contre-fiches (fig. 75, 76, 77 et 78). Les poutres s'appuyant sur des piliers en pierre ou sur des palées en charpente (estacades).

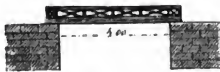


Fig. 75.



Fig. 76.

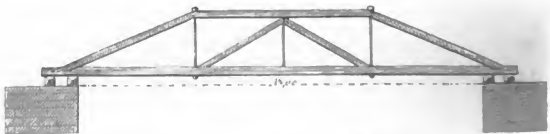


Fig. 77. — Pont sur poutre armée.

2° Ponts avec arcs en bois sous le tablier. (Ancien système de Gauthey ou de Viebeking) (fig. 79).

3° Ponts avec arcs en partie ou en totalité sur le tablier, dans le système de Bürr (fig. 80 et 81).

4° Ponts avec garde-corps rigides en treillis, dans le système de Town (fig. 82).

5° Ponts avec garde-corps en bois avec poteaux, croisillons et contre-fiches, dans le système de Long (fig. 85).

6° Ponts dans le système de Long modifié, soit système de Howe (fig. 84).

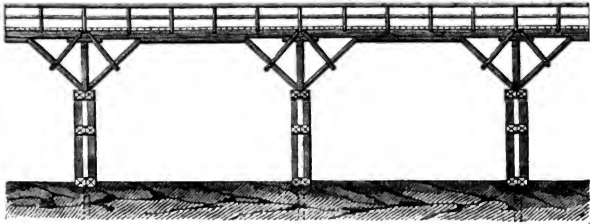


Fig. 78. — Pont sur palée.

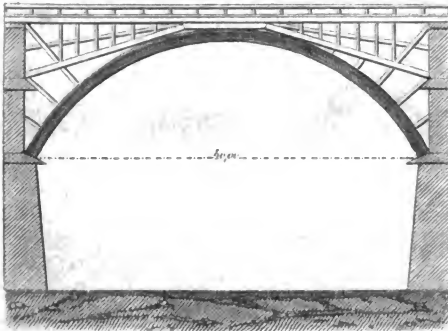


Fig. 79. — Système de Gauthier ou de Viebeking.

Ponts sur poutres en bois. — Les ponts sur palées n'admettent guère que des tabliers sur poutres droites avec parapets pleins, ou moins rigides. Les travées des ponts sur simples poutres sans contre-fiches ne peuvent pas avoir plus de six mètres de portée. Lorsque la poutre est soutenue par des contre-fiches ou qu'elle est armée, elle peut avoir jusqu'à seize mètres.

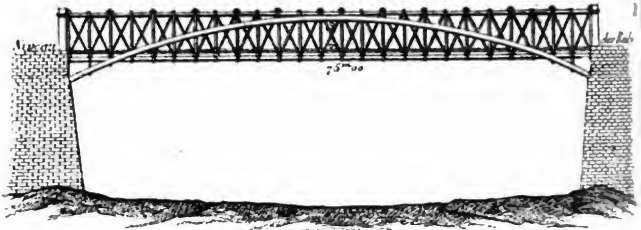


Fig. 80. — Système de Burr.

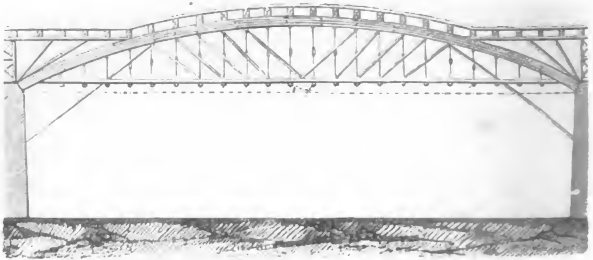


Fig. 81. — Système de Burr.



Fig. 82. — Système de Town.



Fig. 85. — Système de Long.



Fig. 84. — Système de Howe.

Estacades. — Les ponts sur fermes en charpente ou estacades sont assez communs sur les chemins de second ordre de Cornouailles et des environs de Newcastle. Ces chemins, obligés de traverser souvent des contrées difficiles ou accidentées, ont donné lieu quelquefois à de belles constructions dont on admire la hardiesse et la légèreté.

Les figures 85 et 86 représentent le plus grand viaduc en bois existant, celui de Haut-Portage; le tablier repose sur des fermes en

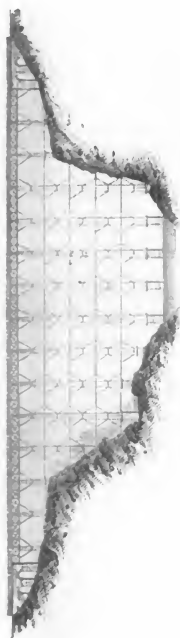


Fig. 85. — Viaduc de Haut-Portage.

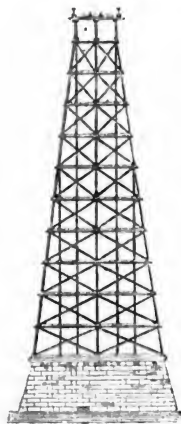


Fig. 86. — Élévation d'une ferme.

charpente. Sa hauteur est de 79 mètres, sa longueur de 267 mètres. Il a été construit en treize mois et demi, et a coûté 875,000 fr.

Les figures 87, 88 et 89 représentent les dispositions de deux

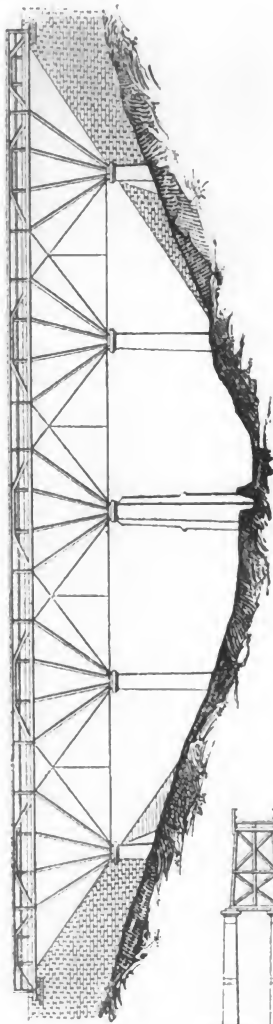


Fig. 87. — Pont en charpente de Westwood.

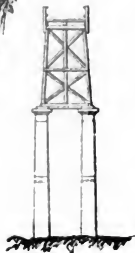


Fig. 89.

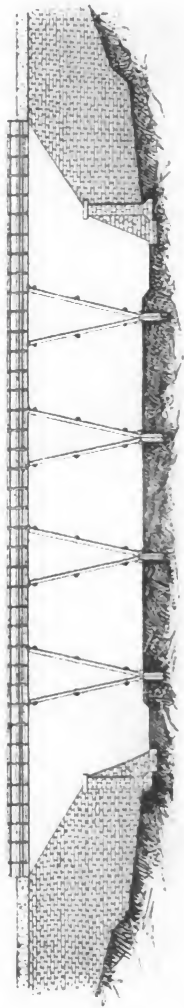


Fig. 88. — Estacade en charpente de Cornwall.

estacades extraites de la belle collection de dessins rapportée par M. Bassompierre.

Sur le chemin de Runcorn à Sainte-Hélène, en Angleterre, on a construit une estacade en charpente disposée de telle manière, que l'on a pu élever sur le même emplacement un pont en maçonnerie sans interrompre le passage des convois, et substituer ce pont à l'estacade sans qu'il y eût pour ainsi dire interruption dans le service.

Le pont en tôle du chemin de Saint-Germain à Asnières a été également construit en entier dans l'intérieur du pont provisoire en charpente construit en 1848, sans qu'il y ait eu la moindre interruption dans le service des chemins de Saint-Germain, de l'Ouest, de Rouen et d'Argenteuil, dont tous les convois passent sur cet ouvrage d'art.

Ponts sur arcs en bois. — Les ponts sur arcs en bois sont assez rigides quand ils sont bien construits, et ils sont généralement moins coûteux que les ponts en bois d'un autre système. Ils ont, d'un autre côté, l'inconvénient d'exiger des culées qui sont quelquefois d'une exécution assez difficile et de forcer à varier la hauteur du débouché.

Nous citerons comme un exemple de viaducs en bois avec arcs placés sous le tablier les magnifiques viaducs du chemin de Newcastle à North-Shields, dont nous avons publié la description en 1859, dans le *Journal de l'Industriel et du Capitaliste*. Les arcs sont formés de planches superposées et clouées ensemble comme les fermes des combles du colonel Emy; elles reposent sur des culées et des piles en pierre.

Système de Burr. — Les ponts en bois dans le système de Burr sont trop flexibles, trop élastiques, et il est plus difficile de les contreventer que ceux dans lesquels l'arc est placé sous le tablier.

Système de Town. — Les ponts de Town sont économiques et admettent de grandes portées avec un débouché rectangulaire. Ils étaient fort à la mode lors du voyage de M. Michel Chevalier aux États-Unis. Mais on a bientôt reconnu qu'ils n'étaient pas assez solides pour porter des locomotives, et on a cessé d'en faire usage, du moins sur les chemins de fer. Ce sont les ponts de cette es-

pèce que l'on désigne ordinairement sous le nom de ponts américains.

Système de Long. — Les ponts de Long sont aujourd'hui abandonnés à cause de la complication des assemblages et la difficulté de les resserrer. On leur préfère les ponts dans le système de Howe.

Système de Howe. — Le système de Howe n'est que celui de Long perfectionné. C'est la même disposition du garde-corps, avec cette différence cependant que les poteaux montants sont remplacés par des tringles ou boulons en fer. Les croix de Saint-André étant alors comprimées dans toutes leurs parties, les assemblages se trouvent fort simplifiés, ce qui est un des principaux mérites de ce système. Un des grands avantages aussi du système de Howe, c'est qu'il permet de relever le tablier en resserrant les écrous.

Ce système est aujourd'hui le seul en usage sur les chemins de fer du continent européen, avec celui des ponts à poutres et contre-fiches et celui des ponts en arc. C'est dans le système de Howe que les ingénieurs du chemin de l'Ouest (Suisse) ont tout récemment construit un pont *provisoire* en bois à Saint-Maurice sur le Rhône, afin de hâter l'ouverture du chemin. On trouve aussi de beaux ponts dans le même système sur les chemins de fer bava-rois. Ils ont été décrits dans les *Annales des Mines* par M. Couche.

Ponts à supports en bois ou en métal avec tablier en bois. — Les ponts avec tabliers en bois portés par des colonnettes en fonte ou en fer ou par des fermes en charpente se rencontrent assez fréquemment sur nos chemins de fer français, où ils servent au passage des routes en dessus. Les colonnettes ou les fermes en charpente ne sont cependant pas sans danger quand elles sont trop rapprochées de la voie, et elles gênent dans le voisinage des stations pour le service de l'exploitation. Il faut autant que possible les éviter, ce qui est généralement facile, en donnant de la rigidité au tablier ou en le suspendant.

Ponts ou viaducs en pierre

Nous avons déjà fait mention du viaduc de Durham. Il a 40 mètres de hauteur maxima, et il est composé de quatre arches, dont

UNIV. OF
CALIFORNIA

une a 49 mètres d'ouverture, et une seconde 45 mètres. Celui de la Göltsch, en Allemagne, dont la hauteur maxima est de 80 mètres, et la longueur de 578 mètres, est aussi fort remarquable.

Viaduc du Val-Fleury. — Le viaduc en pierre représenté ci-contre (fig. 90) a été construit par M. Payen, inspecteur général des ponts et chaussées, sur le chemin de fer de Versailles (rive gauche), dans le Val-Fleury, près Meudon. Le fond de la vallée est composé d'un terrain argileux fort mou, couvert de quelques couches calcaires. Il eût été de la plus grande imprudence d'asseoir un pareil monument sur une base aussi peu résistante, ainsi que quelques-uns le conseillaient, et M. Payen jugea, avec raison, qu'il était de toute nécessité, quelle que dût être la dépense, de descendre les fondations jusqu'au banc de craie inférieure à celui d'argile.

Le volume des maçonneries cachées sous terre se trouve ainsi presque aussi considérable que la partie visible, et ce n'est pas sans difficultés qu'on est parvenu à poser les premières assises des piles dans une fosse profonde que les éboulements menaçaient à chaque instant de combler.

Lès arches de ce viaduc, toutes hardies qu'elles paraissent, le sont cependant beaucoup moins que celles du viaduc de Durham; mais une des conditions imposées à l'ingénieur était d'exécuter ce travail avec une extrême rapidité, et l'on conçoit aisément qu'une arche unique, de grandes dimensions, ne puisse se construire aussi rapidement qu'un grand nombre d'arches plus petites, qui forment comme autant de petits ponts distincts, que l'on peut élever simultanément. L'économie, d'ailleurs, avec une arche unique, est moins grande qu'on ne le supposerait. La diminution de dépense sur les maçonneries est en partie compensée par l'excès de frais sur les cintres.

Les convois, même les plus lourds, peuvent, sans le moindre danger, passer à toute vitesse sur des ponts en charpente d'une légèreté excessive, si les différentes pièces en sont bien combinées et bien assemblées. Nous avons dit plus haut qu'au chemin de Versailles (rive gauche) une partie des remblais, aux abords du viaduc dont nous venons de parler, avait été provisoirement remplacée

par des estacades en charpente d'une excessive légèreté. Ces estacades, au premier aspect, paraissaient manquer de solidité; mais l'expérience a prouvé qu'elles présentaient une résistance plus que suffisante, malgré le poids, le nombre et la vitesse des convois qui chaque jour les ébranlaient par leur passage. La charpente fléchissait, mais ne se rompait pas.

Ces estacades n'étaient pas remarquables seulement par leur légèreté. Elles reposaient sur un terrain de remblai qui, à la suite de grandes pluies, glissait sur le terrain argileux qui lui sert de point d'appui. Fixées dans l'origine à ce terrain, ces estacades en suivaient tous les mouvements, se disloquaient, et ce n'était qu'à très-grands frais que l'on parvenait à les ramener dans leur position primitive. C'est alors que M. Petiet, aujourd'hui ingénieur en chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord, eut l'heureuse idée d'interposer entre l'estacade et le remblai de grandes semelles sur lesquelles on faisait mouvoir avec une aisance merveilleuse, à l'aide de simples crics, l'estacade entière, dès qu'on s'apercevait de la plus légère déviation. On appréciera tout le mérite de ce travail lorsqu'on saura que le poids de cette estacade, y compris celui de la couche de sable et de la voie en fer qu'elle portait, dépassait celui de l'obélisque.

Viaduc et pont de Nogent-sur-Marne. — Parmi les ouvrages les plus remarquables en maçonnerie des chemins de fer français, il faut encore citer le beau pont établi pour le passage de la Marne à Nogent, près Paris, et les viaducs aux abords. Ce pont, dont les projets ont été rédigés par MM. Collet-Meygret et Pluyette, ingénieurs des ponts et chaussées, sous la direction de M. Vuigner, ingénieur en chef de la Compagnie et avec les conseils de M. Mary, inspecteur général, est un des plus beaux monuments de l'art de l'ingénieur. Les figures 91 et 92 montrent qu'il se compose de quatre arches en plein cintre, ayant chacune 50 mètres d'ouverture. Il est établi en meulières reliées par du ciment romain. Les angles seuls et le parapet sont en pierre de taille. Les viaducs aux abords ont 628 mètres de longueur; les arches de ces viaducs ont 15 mètres d'ouverture, et 20 mètres de hauteur moyenne.

Les fondations n'ont pas été sans difficultés. On a descendu un





Hoover Dam, Nevada, U.S.A. (Copyright - Turner)

Hoover Dam, Nevada

Copyright - Turner

Page 48

Page 48, 1st Ed.

cylindre en tôle pour se préserver de l'envahissement des eaux de la Marne¹.

Le cintrage et le décintrage d'arches d'aussi grandes dimensions semblaient à certains ingénieurs presque impossibles. L'opération, toutefois, grâce à une méthode ingénieuse trouvée par M. Pluyette, a eu lieu avec une grande facilité².

Viaduc de Chaumont. — Le viaduc de Chaumont (fig. 95), construit sur la portion du chemin de Blesmes à Gray qui lui est commune avec le chemin de Mulhouse, est aussi un ouvrage d'art fort digne d'attention. Cet ouvrage est d'une grande élégance, et il est aussi d'une extrême légèreté, puisque le rapport du vide au plein y est de 5,12, tandis que, pour d'autres viaducs, il n'est que de 1,74 ou 2,06. Long de 600 mètres, haut de 50 mètres au maximum, et cubant 60,000 mètres cubes, il a été exécuté en moins d'une année. Cette rapidité d'exécution est un véritable tour de force dont on ne peut citer aucun autre exemple. Il a fallu, pour y parvenir, travailler la nuit à la lumière électrique. Rien n'était plus curieux que la disposition des chantiers pour la construction. Ils ont été décrits dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*. Le viaduc de Chaumont fait le plus grand honneur à l'ingénieur en chef, M. Zeiller, à l'ingénieur ordinaire, M. Decomble, et aussi au chef de service des entrepreneurs, M. Gourdin, qui a déployé dans l'exécution une incroyable activité et a fait preuve d'un talent incontestable.

Viaduc de Comelle. — Le viaduc le plus léger qui ait été construit à notre connaissance sur un chemin de fer est celui de Comelle, près de Chantilly (chemin de fer du Nord), par M. Mantion (fig. 94).

Ce viaduc est entièrement en moellons, à l'exception des parements du couronnement, du soubassement et des bandeaux des piles. La plus grande hauteur des piles est de 24^m,60; l'ouverture des arches de 19 mètres; les tympans sont évidés, mais les piles ne le sont pas. Toutes les piles sont de même dimension. Leur largeur au sommet est de 2^m,70.

¹ Voir les plans complets de cet ouvrage d'art et de celui de Chaumont dans le *Nouveau Portefeuille de l'Ingénieur*.

² On aurait pu aussi employer dans ce cas la méthode bien connue de M. Beaudemoulin.

Viaducs du chemin d'Orléans et des chemins luxembourgeois.

— Nous citerons aussi les très-beaux viaducs en moellons construits sur le chemin d'Orléans par M. Morandière, et les viaducs également fort remarquables construits sur le réseau luxembourgeois, par M. Grenier.

Viaduc du Lockwood. — Il existe aussi à Lockwood, en Angleterre, un viaduc d'une légèreté excessive construit en matériaux bruts reliés par du mortier d'excellente qualité. Si les dessins qui en ont été publiés dans un ouvrage anglais sont exacts, nous doutons de sa solidité.

Viaducs allemands. — En Allemagne, on voit peu de ponts en maçonnerie d'une grande hardiesse, et l'on y fait à peine emploi du ciment romain, dont on commence à tirer un si bon parti en France.

Il nous est impossible de nous étendre davantage, dans ce *Traité élémentaire*, sur la description des grands ouvrages d'art en pierre. On trouvera plus de détails dans le *Nouveau Portefeuille*.

Opinions diverses sur les dimensions des ouvrages d'art en maçonnerie. — Les opinions sur les dimensions à donner aux ponts ou viaducs de chemins de fer en pierre ou en bois sont partagées.

Un ingénieur d'un grand mérite, M. Jullien, pense que dans les ouvrages destinés à supporter les rails d'un chemin de fer, la légèreté n'est pas une condition rationnelle. Plusieurs des ingénieurs de nos grandes lignes, s'éloignant des idées de M. Jullien, ont fait des viaducs relativement beaucoup plus légers que ceux établis par cet ingénieur. Tous ceux dont nous avons fait mention sont de ce nombre. On a généralement cherché dans ces viaducs de construction récente à réduire les vibrations dont M. Jullien craignait les effets dans les ouvrages légers, soit par des arceaux de contreventement, soit en adoptant de grandes ouvertures qui conduisent à des épaisseurs suffisantes aux points divers où se font sentir les vibrations, tout en permettant de construire économiquement.

Viaducs droits et courbes. — Dans l'origine des chemins de fer on redoutait les viaducs courbes. On leur reprochait de manquer de solidité. Aujourd'hui on continue sans doute à préférer les

viaducs en ligne droite. Toutefois on en a construit un grand nombre en ligne courbe lorsque les exigences du tracé l'exigeaient, et on n'a pas remarqué que la solidité leur fit défaut.

Parapets en pierre ou en métal. — Les parapets en pierre sont préférés à ceux en métal, bien qu'ils augmentent un peu la largeur du viaduc. En Allemagne, on supprime quelquefois entièrement le parapet. Peut-être est-ce rationnel; toutefois cette suppression des parapets paraît effrayante aux voyageurs, et nous croyons qu'il vaut mieux les conserver, lors même qu'en cas de déraillement il est douteux qu'ils empêchent la chute de la locomotive.

Piles culées. — Dans un grand nombre de viaducs on a placé de distance en distance des piles de dimensions supérieures que l'on nomme *piles culées*. Les piles culées ont pour objet de s'opposer à la propagation des vibrations et de soutenir le viaduc dans le cas de la rupture d'une ou plusieurs arches. Si on les a supprimées au viaduc de Comelle, c'est qu'on a supposé que ces piles, hautes de 40 mètres, à moins qu'on ne leur donnât des dimensions excessives, ne présenteraient pas la solidité nécessaire pour contenir le pont en cas de rupture d'une partie des arches.

Ponts en pierre sur tranchées et sous remblais. — On a adopté différents systèmes pour l'établissement des ponts en pierre au-dessus des tranchées et sous remblais. Le système des ponts à culées perdues est le plus économique, pourvu toutefois que le passage du pont n'ait pas une trop grande largeur; ce système présente aussi l'avantage dans les tranchées de ne pas masquer, comme les autres, la vue au mécanicien en avant de sa machine.

Ponts sous remblais. — Au chemin du Nord et au chemin de Versailles (rive gauche) on a construit des passages en maçonnerie sous remblais, en soutenant la voûte latéralement au moyen de murs en retour noyés dans le remblai, qui alors se terminait aux abords du pont par des quarts de cône en terre pilonnée. Ces murs, étant composés uniquement de moellons, étaient fort économiques. Mais on a reconnu que la poussée des terres, surtout quand le remblai était élevé, tendait à les renverser en écartant les deux têtes du pont l'une de l'autre et fendant la voûte dans le milieu. On substitue depuis lors des murs en ailes aux murs en retour. Ces murs,

recouverts d'un cordon en pierres de taille, sont un peu plus coûteux que les murs en retour, mais ils sont plus efficaces.

Ponts à culées perdues. — Aux chemins de Tergnier à Reims

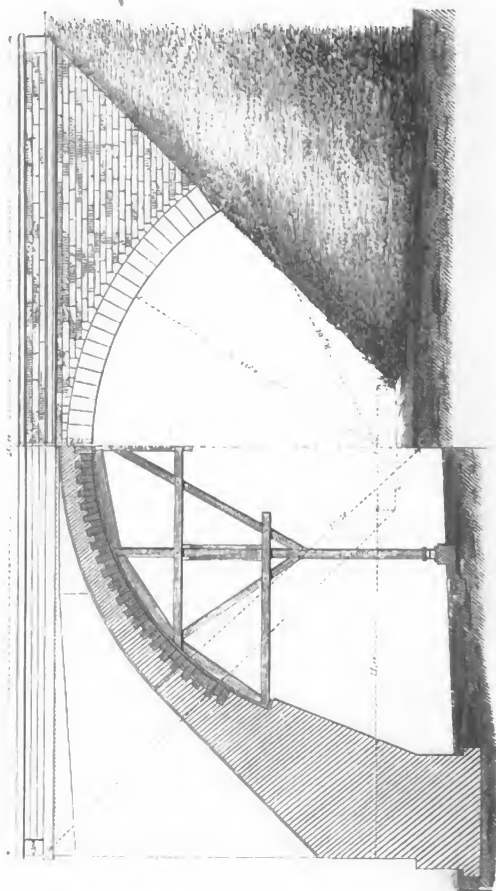


Fig. 95. — Pont à culées perdues du Nord.

et de Paris à Creil, M. Manton a appliqué un nouveau type de ponts

inférieurs, à culées perdues; le même système a été imité sur d'autres lignes.

Ce type consiste (fig. 95), comme les passages en dessus, en une voûte qui se continue jusqu'à la fondation, sans pieds droits. Généralement c'est un plein cintre ou une portion de plein cintre; sur les reins de la voûte s'appuient des murs en retour, ou plutôt des portions de murs en retour; comme elles n'ont généralement qu'une hauteur très-réduite, il est facile de leur donner une épaisseur suffisante pour assurer leur stabilité, sans grande dépense. Ce nouveau type est d'une exécution très-facile; il simplifie les ponts biais par la suppression des crémaillères de retombée et des appareils des murs en aile biais. L'économie qu'il procure est d'autant plus sensible que, dans ce système, leur surface est très-réduite.

Si on remarque que l'économie porte sur les deux têtes du pont, tandis que la voûte est plus large et par conséquent plus chère que celle des ponts ordinaires, on conclura que, avec des ponts d'une grande longueur, cette économie disparaîtra, et qu'au contraire il conviendra spécialement d'appliquer ce type pour les ponts d'une petite longueur, comme, par exemple, ceux des chemins à une voie.

Culées des viaducs avec arche à culée perdue. — Une des dispositions les plus économiques pour terminer un viaduc est d'employer, à cet effet, une arche à culée perdue, reproduisant le type des passages inférieurs. C'est selon ce principe qu'ont été terminés les viaducs de Chantilly, de Comelle, de Saint-Maur, de Chaumont, etc.

Ponts biais. — Le tracé des chemins de fer nécessite souvent la construction de ponts très-biais.

De nombreux Mémoires ont été publiés dans les *Annales des Ponts et Chaussées* sur ce genre de ponts. Parmi les différents appareils adoptés pour la coupe des vousoirs de ces ponts, nous signalerons l'appareil cycloïdal comme le plus avantageux au point de vue pratique. Le plus communément employé est toutefois l'appareil helicoïdal.

Ponts en fonte

Les plus beaux ponts en fonte connus sont le grand pont de Newcastle, de Robert Stephenson, représenté figure 96, et le ma-

gnifique pont établi sur le Rhône, par M. Paulin Talabot, pour le passage du chemin de fer d'Avignon à Marseille. Les arches de ce dernier pont, formées de voussoirs dont les surfaces de joint sont planes, sont au nombre de sept. Elles ont chacune 65 mètres d'ouverture. Au chemin de fer du Nord, la voie traverse le canal Saint-Denis sur un pont très-biais en fonte de 52 mètres d'ouverture, exécuté dans le système Polonceau. On doit enfin citer les ponts en fonte construits récemment sur les chemins de l'Ouest et de Lyon à la Méditerranée.

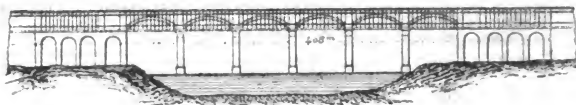


Fig. 96. — Pont de Newcastle.

Lorsque la fonte est employée sous forme de poutres, il y aurait du danger à dépasser une portée de 7 mètres, et encore n'en fait-on usage que pour le passage en dessus.

Nous indiquerons comme un exemple de ponts à poutres en fonte établis dans de bonnes conditions les ponts en dessus du chemin d'Auteuil, construits par M. Eugène Flachet. Ils ont, entre les culées, 7 mètres de largeur, et se composent de poutres de 8^m,50 de longueur, ayant de 0^m,55 à 0^m,60 de hauteur, placées à environ 2^m,20 de distance les unes des autres et reliées par des sommiers qui partagent en trois parties égales l'intervalle de 7 mètres qui sépare les culées. Ces sommiers portent des voûtes formées de deux arceaux de briques. Ainsi disposés, ces ponts sont très-rigides. La masse de maçonnerie qui relie les poutres et le poids considérable du pont par rapport à la surcharge forment obstacle aux vibrations.

En Angleterre, quelques accidents graves ayant eu lieu dans les essais de poutres droites en fonte d'une longueur de plus de 7 à 8 mètres, le gouvernement s'en est ému à tel point, que le parlement a interdit, de la manière la plus absolue, l'emploi de ce genre de poutres¹.

¹ Rapport de M. Bassompierre.

Ponts en fer.

Les ponts en fer sont construits avec des poutres ou avec des arcs.

Ponts sur poutres. — Nous parlerons d'abord des ponts construits avec des poutres.

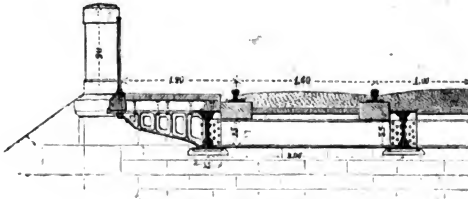


Fig. 97. — Type du Nord.

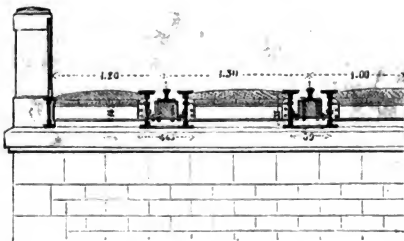


Fig. 98. — Type du Nord.

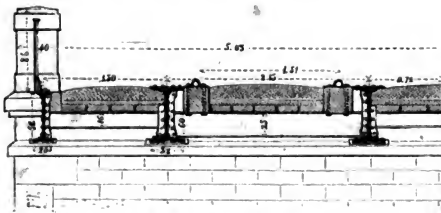


Fig. 99. — Type de l'Est.

Ponts à petite portée. — Quand la portée n'est pas très-grande (10 à 12 mètres au plus), le tablier du pont repose sur de simples poutres entièrement pleines (fig. 97, 98, 99, 100 et 101). Ces

poutres, placées dans la même direction que les rails, sont réunies

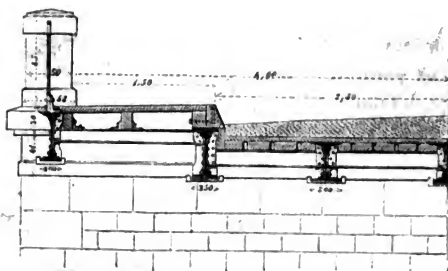


Fig. 100. — Type de l'Est.

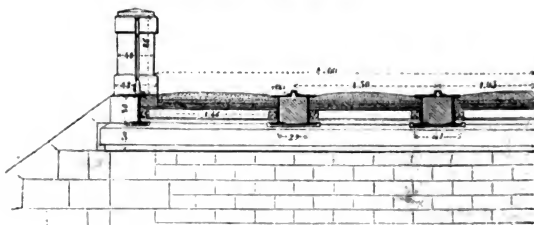


Fig. 101. — Type de l'Est.

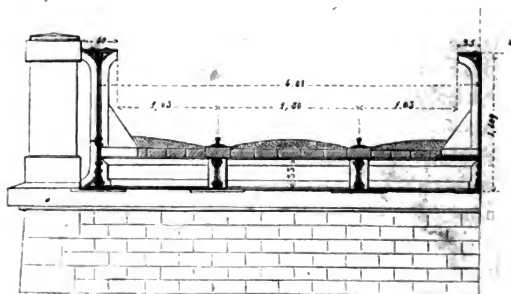


Fig. 102. — Type du Nord.

par des entretoises. Leur forme est généralement celle d'un double T.

Elles sont quelquefois d'une seule pièce, et la partie intermédiaire ou âme se raccorde par des congés aux tables supérieure et inférieure.

Ponts à grandes portées. — Pour de plus grandes portées (au delà de 12 mètres), les poutres, étant plus fortes, sont composées de plusieurs pièces, les deux tables, l'âme et les cornières rivées qui relient l'âme aux tables (fig. 102 et 105).

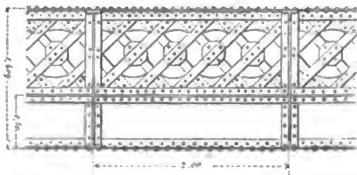


Fig. 105. — Élévation de la poutre de la figure 102.

Quand les âmes ont une grande largeur, une âme pleine devient insuffisante; on soutient la table supérieure au moyen de deux montants au moins, et l'on a alors une âme évidée.

Les tables supérieure ou inférieure sont reliées à l'âme à l'aide de goussets. On peut ainsi admettre des portées considérables (30 à 40 mètres).

La portée augmentant encore, les tables sont évidées aussi bien que l'âme, et sont divisées en une ou plusieurs cellules rectangulaires ou triangulaires.

Les figures 97, 98, 99, 100 et 101 représentent des ponts à poutres en fer de différentes dimensions. Les figures 106, 107, 108 et 109 reproduisent les sections transversales de différentes poutres employées.

Les rails sont placés tantôt en haut, comme dans les ponts suisses, tantôt en bas, comme au pont de Menai, tantôt à une certaine distance des tables qui couronnent les parapets, comme au pont de Langon (fig. 115).

Ponts tubulaires. — On arrive enfin, pour les portées les plus considérables, aux tables reposant sur des montants placés sous leurs extrémités, tellement écartés et tellement élevés, que l'ensemble forme alors un grand tube rectangulaire en tôle dans lequel.

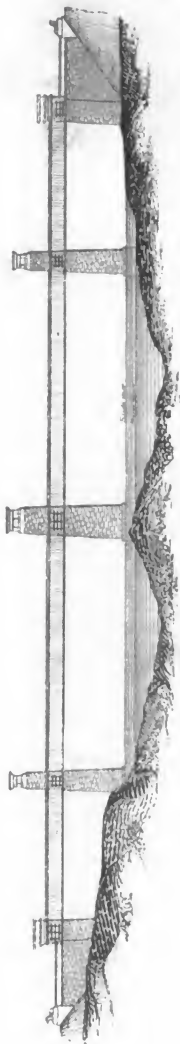


Fig. 104. — Pont de Menai.

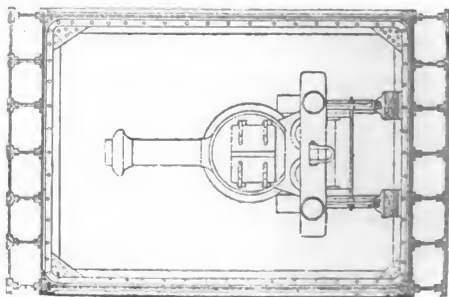


Fig. 105. — Pont de Menai.

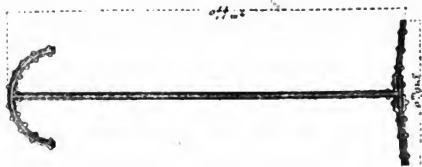


Fig. 106.

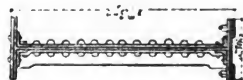


Fig. 107.



Fig. 108.



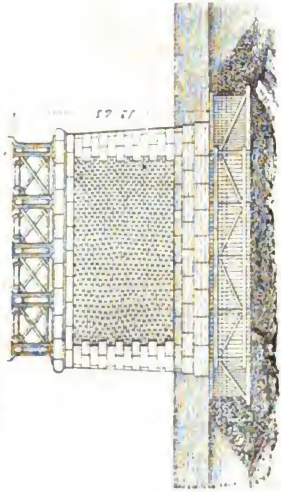
Fig. 109.

Elevation



Fig. 110.

Coupe suivant l'axe d'une Travée



Coupe suivant l'axe d'une Pile

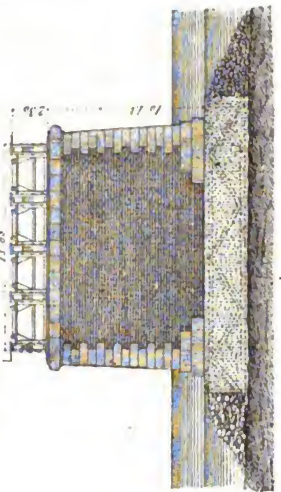


Fig. 111 et 112. — Pont sur la Seine à Asnières.

on fait passer les trains. Tel est le célèbre pont de Menai (fig. 104 et 105), dont la portée, entre deux piles, atteint 140 mètres.

Ponts en treillis. — Si les montants latéraux sont évidés ainsi que le plafond, le pont tubulaire devient un *pont treillisé*, tel que le pont de la Dirshau, le pont du Rhin, le pont de Bordeaux et le pont d'Offenbourg.

Pont d'Asnières. — Le pont d'Asnières (fig. 110, 111 et 112) appartient à la catégorie des ponts à poutre évidée. Dans ce pont, la grande largeur des tables a conduit à doubler le tablier. L'âme étant placée dans le haut, on a pu contreventer solidement les poutres en les reliant par des croix de Saint-André transversales.

Pont de Langon. — Le pont de Langon (fig. 115) appartient

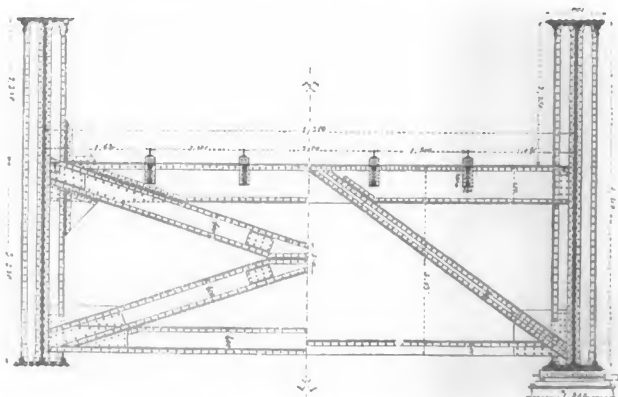


Fig. 115. — Pont de Langon.

déjà aux ponts avec poutres à grande portée. Il offre deux poutres à âme pleine, et les rails sont placés au milieu de la hauteur. Il reste au-dessous de ces rails assez d'espace pour un contreventement solide.

Dans les ponts tubulaires, comme le pont de Menai, le contreventement devient impossible. On y supplée par des goussets en un nombre suffisant et en doublant les tables.

Pont de Cologne. — Au pont de Cologne, les tables ne sont pas cloisonnées comme au pont de Menai; mais l'âme treillissée est dédoublée sur chaque rive.

Pont de la Dirshau. — Au pont de la Dirshau on a donné de la roideur à la poutre (fig. 114) au moyen de tables non cloisonnées placées les unes au-dessus des autres, roidies par des cornières posées dans les angles.

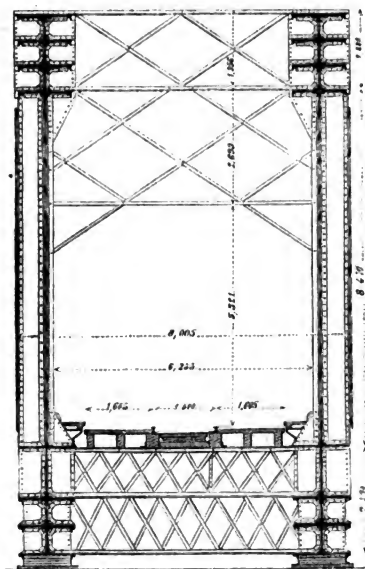


Fig. 114. — Pont de la Dirshau.

Ponts à travées indépendantes ou solidaires. — A propos des ponts à plusieurs travées, on a beaucoup discuté la question de savoir s'il fallait rendre les travées indépendantes ou si on devait les rendre solidaires. La première solution exige un peu plus de matière, mais elle se prête mieux aux effets de variations de tem-

au Canada. Ce magnifique ouvrage d'art est connu sous le nom de pont Victoria. La longueur totale de ce pont est de 2,745 mètres.

Les travées sont au nombre de vingt-cinq, celles du milieu ont 100^m,05 de portée, les autres 75^m,81. Les deux piles du milieu ont 5^m,49 d'épaisseur; celles voisines des culées, 4^m,57. Les piles intermédiaires augmentent graduellement d'épaisseur depuis les culées jusqu'aux piles du milieu. La distance de l'étiage au plancher du tube est de 18^m,50. Chacun des tubes a 5^m,79 de hauteur à ses extrémités; cette hauteur augmente progressivement jusqu'au centre, où elle est de 6^m,86. La largeur est de 4^m,88. Le poids total du fer employé est de 10,400 tonnes. Le cube total de la maçonnerie est de 84,642 mètres cubes. Le passage des convois s'effectue ordinairement en quatre minutes, ce qui représente une vitesse de 41 kilomètres par heure; mais la solidité du pont est telle, que les ingénieurs ne doutent pas qu'on y puisse circuler sans danger à des vitesses beaucoup plus grandes.

Ponts de Conway et de Menai. — Les deux ponts tubulaires de Conway et de Menai, établis par Robert Stephenson sur le chemin de fer de Chester à Holyhead, sont les travaux de ce genre les plus remarquables. Ils se composent chacun de deux grands tubes rectangulaires en tôle, à l'intérieur desquels passent les convois. La figure 105 représente la coupe d'un de ces tubes. Dans le pont de Conway, les poutres, longues de 122 mètres entre leurs deux culées, ne sont supportées en aucun point intermédiaire. Elles pèsent chacune 1,150 tonnes. Dans le pont de Menai (fig. 104), la longueur des poutres est de 460 mètres: elles portent sur deux culées et sur trois piles intermédiaires. Les deux travées du milieu ont 140 mètres, les deux extrêmes 70 mètres d'ouverture. Les poutres de 140 mètres ont été construites sur le rivage, puis amenées au moyen de radeaux au-dessous de l'emplacement qu'elles devaient occuper; enfin elles ont été élevées à la hauteur considérable de 50 mètres au-dessus des plus hautes marées, au moyen de deux presses hydrauliques placées au sommet des piles. Les tubes de 70 mètres ont été construits en place sur des échafaudages et réunis aux grands tubes au moyen de tubes de raccord; de cette façon, chaque moitié du pont se compose d'une immense poutre de

UNIV. OF
CALIFORNIA



L. Gouguet

Le port de l'île de l'Anse-au-Loup

1846

Pl. 12

460 mètres de long, fixée sur la pile centrale et reposant librement sur les deux piles de rive et sur les culées. Chacune de ces poutres pèse 5,400 tonnes.

Ponts de M. Gouin. — M. Gouin, l'un de nos plus habiles fabricants, a construit, dans le Midi, cinq grands ponts en fer sur la Garonne, le Lot, le Tarn, l'Hérault et l'Orbe. Les quatre premiers sont en tôle, dans le système tubulaire; le cinquième, dans le système diagonal (espèce de treillis). Ils sont tous à deux voies. — Les voies ne sont indépendantes que sur deux d'entre eux. Les portées pour les trois premiers atteignent 80 mètres, pour les autres 40 ou 50 mètres. Le pont de Mâcon, construit également par M. Gouin, se compose de travées de 45 mètres. Les parapets, qui sont en tôle pleine, n'ont que 2^m,50 de hauteur. Un écartement plus grand pour les piles exigerait une plus grande hauteur de parapet.

Pont de Kehl. — Les bases du projet de pont en treillis construit vis-à-vis de Kehl, et livré à la circulation en 1861, ont été arrêtées dans une conférence qui a eu lieu en 1857, à Strasbourg, entre les commissaires du gouvernement français et ceux du gouvernement badois.

Ce pont (fig. 116) a 255 mètres de longueur totale entre les culées; le tablier se trouvant à 1^m,50 seulement au-dessus du niveau des plus hautes eaux, on a rendu mobiles les deux travées contiguës aux rives. Ces travées reposent par une de leurs extrémités sur une culée, et par l'autre sur une pile. Aujourd'hui, la navigation n'ayant pas lieu au-dessus de Kehl, les travées sont inutiles comme moyen de faciliter le passage des bateaux; elles ne sont destinées qu'à répondre aux besoins de la navigation dans l'avenir. Elles doivent servir aussi à interrompre la circulation en cas de guerre.

Les piles, au nombre de quatre, sont écartées de 56 mètres de parement en parement. Les deux piles extrêmes en maçonnerie portant l'une des extrémités des ponts tournants ont 4^m,56 d'épaisseur au sommet et 21 mètres de longueur. Les piles intermédiaires, également en maçonnerie, ont 5^m,06 d'épaisseur et 15 mètres de longueur. Le pont porte deux voies séparées par une entrevoie de 1^m,80. On a ménagé sur les côtés des passerelles pour les pié-

tons; mais on n'a pas établi de voie charretière. Les voitures continuent à passer sur le pont de bateaux, qui a été conservé.

Les fondations des piles du pont de Kehl ont présenté des difficultés exceptionnelles. Nous décrirons plus loin le procédé employé pour les surmonter.

Le pont de Kehl est l'œuvre de MM. Vuigner et Keller, ingénieurs en chef, Fleur-Saint-Denis et Koganeck, ingénieurs ordinaires. Il a été construit en moins de deux années.

Les ponts tournants sont d'un fâcheux aspect, et ils ont augmenté considérablement la dépense. La Compagnie, si elle n'y eût été forcée, ne les eût pas construits.

On se demande pourquoi, les piles présentant de grandes difficultés de fondation, on n'en a pas diminué le nombre en augmentant la largeur des travées. Cela tient à ce que la Commission internationale a *prescrit* l'établissement des quatre piles dans le but d'avoir une travée dans l'axe du fleuve. Il n'a pas été permis aux ingénieurs de s'écarter du programme de la Commission.

Pont de Cologne. — Cet important ouvrage a été exécuté par M. Hermann Lhose, auteur du grand pont sur la Vistule.

Les piles ont été fondées sur un sol de gravier d'alluvion ne s'affouillant pas sensiblement, ce qui a permis de les élever sur un simple lit de béton de 4^m,50 d'épaisseur, contenu par une enceinte de pièces jointives.

Les treillis ont 8^m,50 environ de hauteur, et 1^m,60 d'épaisseur. Le pont porte en même temps un chemin à deux voies, et une voie charretière avec des trottoirs. — Le chemin de fer et la voie charretière sont juxtaposés, mais sur deux ponts indépendants, bien que s'appuyant sur les mêmes piles.

La largeur du chemin de fer est de 7^m,55, et de la route 8^m,48.

Toutes les travées sont fixes. Le tablier est à 15 mètres au-dessus de l'étiage et à 0^m,60 au-dessus des plus hautes eaux. La navigation des bateaux à vapeur cesse dès que le niveau des hautes eaux atteint 7^m,85 au-dessus de l'étiage, ou 7^m,15 au-dessous du tablier.

Les piles sont au nombre de trois. Elles sont écartées de 98^m,25. Elles ont 6^m,28 d'épaisseur.

Univ. of
California



L. Dauguet.

Pont sur la Gironde à Bordeaux.

Pl. 53. 1^{re} Vol.

Pl. 117

La longueur totale du pont est de 412 mètres.

Les frais de construction de ce grand travail se sont élevés à 10,500,000 fr. environ, dont 5,600,000 fr. pour la superstructure. On y accède par des rampes coûteuses d'établissement. Il a été livré à la circulation en 1859. Il avait été commencé en 1855.

Pont de Bordeaux. — Le pont de Bordeaux (fig. 117), établi sur l'embranchement qui relie le chemin de fer du Midi au chemin de fer d'Orléans, est remarquable par sa grande légèreté.

La longueur totale, y compris celle du viaduc établi à la suite sur le bord de la rivière, est de 650 mètres; la longueur du pont entre les culées, de 500 mètres.

Il se compose de sept travées, dont les deux extrêmes ont 57^m,560 d'ouverture, et les cinq autres, 77^m,06.

Le tablier métallique se compose de deux poutres principales; des pièces de pont placées à la partie inférieure supportent les deux voies de fer.

Les piles se composent chacune de deux tubes en fonte de 3^m,60 de diamètre dans toute leur hauteur, et enfoncés à une profondeur de 15^m,90 au-dessous de l'étiage de la Garonne.

Ces tubes sont formés d'une série d'anneaux en fonte superposés et ayant 38 millimètres d'épaisseur et 1^m,410 de hauteur.

Les colonnes sont réunies par un solide contreventement vertical. On avait projeté une armature en fer en avant des colonnes pour les protéger contre le choc des bateaux. Mais cette armature n'a pas été exécutée.

Les poutres sont au nombre de deux seulement formant parapets. Elles offrent l'aspect d'une série de grands panneaux composés chacun de deux montants en fer réunis par des traversines et consolidés par de grandes croix Saint-André qui ont toute la hauteur du pont.

Nous décrirons plus loin le procédé employé pour la fondation des piles.

Pont de Varsovie. — Le pont actuellement en construction sur la Vistule, à Varsovie, a un débouché de 472^m,200, mesuré entre les culées. Il se compose de six travées égales, ayant d'axe en axe des piles de 79^m,300 de longueur. Le tablier se compose de deux

poutres principales laissant entre elles un espace libre de 10^m,470, destiné à la circulation des voitures ordinaires et pouvant éventuellement recevoir une double voie de chemin de fer. Deux trottoirs ayant 2^m,50 de largeur sont supportés en dehors des poutres par le prolongement des pièces de pont. Les poutres principales sont à double paroi verticale en treillis à larges mailles sans montants verticaux. Les diagonales sont entretoisées entre elles de façon à roidir la paroi verticale. Nous dirons plus loin comment les piles sont disposées et par quels moyens elles ont été fondées.

Ce pont a été étudié et est construit par M. le général Kerbedz, l'un des ingénieurs les plus distingués de la Russie.

Viaducs en Allemagne. — On ne trouve en Allemagne ni ponts tubulaires ni ponts sur des poutres creuses comme celui d'Asnières; mais les ponts en treillis y sont nombreux.

Pont sur la Dirshau. — Le plus remarquable est le pont établi sur la Vistule, à Dirshau, près de Dantzig. Il a 690 mètres de longueur et repose sur deux culées et cinq piles; l'écartement des piles est de 115 mètres de parement en parement. Il ne porte qu'une seule voie.

Pont sur la Nogat. — Nous citerons encore les ponts à treillis de la Nogat, près Mariembourg, composés de deux travées seulement, longues chacune de 97 mètres, et celui d'Offenbourg, sur le chemin badois. Nous donnons ci-contre (fig. 118, 119) l'élévation longitudinale et celle d'une des têtes de ce dernier pont. Il a remplacé un pont en fonte de cinq arches, emporté, en 1852, par une débâcle.

Viaducs en Suisse. — Les chemins Central et Sud-Est (Suisse), construits par l'habile ingénieur Carl Etzel, nous offrent des spécimens remarquables de ponts en treillis dont nous avons donné les principales dimensions en décrivant le tracé de ce chemin.

Les figures 120, 121, 122 et 125 représentent quatre de ces ponts, et on trouvera aux documents un tableau indiquant le prix détaillé de tous les ponts ou viaducs du chemin Central.

Pont sur la Sitter. — Le grand pont sur la Sitter (fig. 122), long de 160 mètres et haut de 65 mètres, a coûté 909,640 fr., dont 54,669 fr. ont été dépensés pour les fondations, 149,811 fr.



UNIVERSITY OF
CALIFORNIA



no vidu
ANDROMACHA

100

101



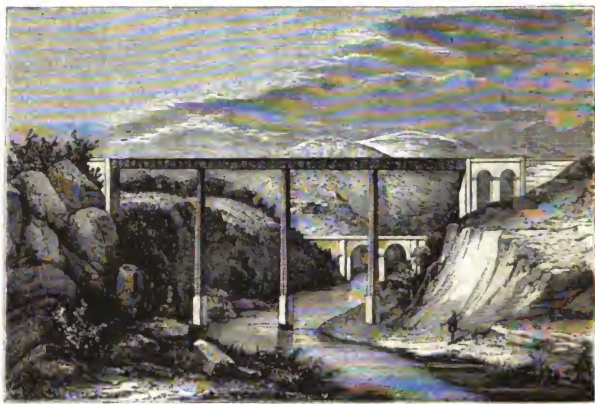


Fig. 122. — Pont de la Sitter.



Fig. 125. — Pont de l'Aar.

UNIV. OF
CALIFORNIA



L. Gouquet

1848 Nov 1^{er} Val

1. Vallée de l'Arve au village de

1848

pour la maçonnerie, 261,285 fr. pour le treillis, et 408,775 fr. pour les piliers métalliques.

Pont sur l'Aar. — Le pont sur l'Aar (fig. 123, 124 et 125), avec

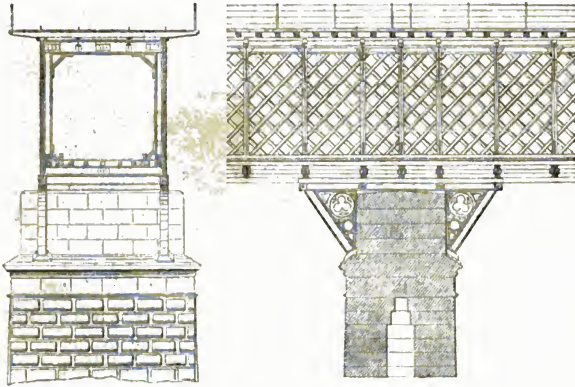


Fig. 124 et 125. — Coupes du pont sur l'Aar.

voie charretière au-dessous du chemin de fer, long de 164 mètres, a coûté 1,105,600 fr., desquels 22,400 fr. ont été dépensés pour les fondations, 212,000 fr. pour la maçonnerie, 724,600 fr. pour les treillis et autres parties en fer, et le reste pour le platelage du chemin, etc.

Pont de Fribourg. — La figure 126 ci-contre représente un magnifique pont en fer et fonte établi sur le chemin de fer de Lausanne à Berne, par Oron. Ce pont, qui est en cours de construction, a une longueur de 394 mètres et une hauteur de 85^m,80 au-dessus du fond de la vallée. Il se rapproche beaucoup, dans son ensemble, du viaduc de Crumlin : le tablier est soutenu par des colonnes en fonte réunies par des crois de Saint-André. Ces piles en fonte sont portées sur des piles en pierre d'une hauteur de 35^m,45.

Bowstrings. — Les *bowstrings*, dans lesquels l'arc ne soutient pas le tablier, mais fait partie d'une grande poutre armée, viennent naturellement à la suite des ponts tubulaires ou treillisés.

Avantages et Inconvénients des bowstrings. — Nous reproduisons ici l'opinion que nous avons déjà exprimée dans le *Nouveau Portefeuille*, et qui nous est commune avec MM. Molinos et Pronnier, à l'ouvrage desquels nous avons emprunté le passage suivant :

« Les bowstrings, sous le rapport de l'emploi du métal, sont désavantageux si on les compare à la poutre de même portée qui a pour hauteur la flèche du bowstring. Nous avons montré aussi que cette infériorité pouvait disparaître si on ne considérait pas le bowstring comme assujéti à la même condition de hauteur que la poutre; la comparaison entre ce système et les précédents pour des ponts à une seule arche était donc assez difficile, puisque ces deux systèmes n'avaient jamais de dimensions comparables. On peut pourtant formuler les conclusions suivantes :

« Toutes les fois qu'on sera gêné par le débouché, et, que, par suite, la hauteur des fermes du pont sera limitée, le bowstring sera moins avantageux que la poutre droite de même hauteur, et à plus forte raison que l'arc de la même flèche.

« Si on peut employer les fermes en garde-corps d'une hauteur arbitraire, on peut arriver à construire un bowstring plus avantageux que la poutre comme emploi de métal, mais jamais aussi avantageux que l'arc simple, dont les fermes peuvent être également placées en garde-corps; ce qui doit alors décider entre ces deux derniers systèmes est seulement la considération des culées.

« Ajoutons pourtant que, dans ce cas, l'arc du bowstring se trouvant dans des conditions d'équilibre plus défavorables, ces ponts présentent l'inconvénient de vibrer facilement sous l'action de surcharges inégalement réparties, à moins que la masse du pont ne soit considérable relativement à ces surcharges. C'est pour cela que M. Brunel charge ses ponts de ballast; dans tous les cas, ce système devient désavantageux pour les ponts à plusieurs travées. »

Les bowstrings ont aussi l'inconvénient de présenter un certain danger en cas de rupture de la corde qui relie les deux extrémités de l'arc.

Le plus grand bowstring qui ait été construit est celui de Salsash, près Plymouth, construit par Brunel fils. Ses proportions

gigantesques n'ont rien à envier à celles du pont de Menai.

Pont de Saltash. — Le pont de Saltash (fig. 127, 128), précédé sur chaque

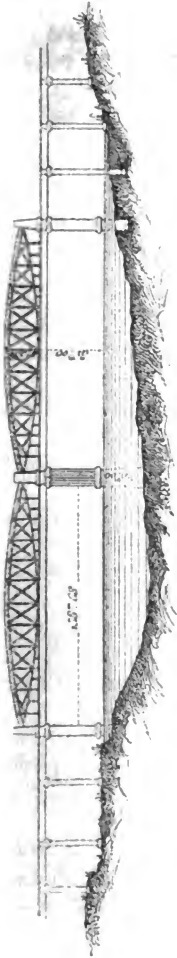


Fig. 127. — Pont de Saltash.

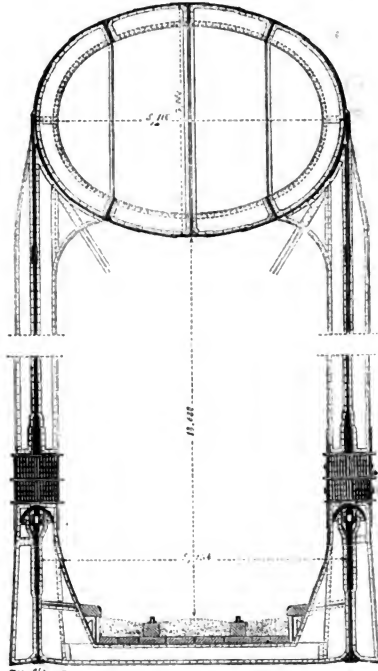


Fig. 128. — Pont de Saltash, — coupe.

rive par un viaduc en tôle ordinaire, est composé de deux travées de 455 pieds (158^m,68) chacune. Chaque travée est formée d'un arc tubulaire en tôle rivée, à section elliptique, dont les poussées hori-

zontales sont détruites par une série polygonale de tirants en fer, de manière à former un système rigide auquel sont suspendues, par d'autres tirants en fer, deux poutres en tôle formant garde-corps de la voie unique du railway. Chaque travée a été construite complètement sur un échafaudage élevé le long du rivage et dont le pied baigne à haute mer. La travée achevée a été poussée de l'échafaudage fixe sur un échafaudage mobile et posée sur des pontons qui approchaient la travée du pied des piles, au haut desquelles elle a été hissée au moyen de presses hydrauliques.

Dans cet immense ouvrage, la fonte n'est employée que dans le revêtement des piles au-dessus des hautes mers.

Ponts Pauli. — Les ponts que M. Pauli a construits en Bavière, et auxquels il a donné son nom, peuvent se rattacher à la classe des *bowstrings*. Les figures 129 et 130 représentent un de ces ponts.

Les ponts Pauli exécutés jusqu'à ce jour se ressemblent dans leurs dispositions principales; ils n'ont subi que des modifications partielles résultant de la différence des ouvertures.

La figure 131 représente la coupe du pont sur le chemin de fer de Gros-Achen, ligne de Rosenheim à Salzbourg.

L'arc inférieur est formé de bandes de fer plates, qui sont réunies au moyen de boulons coniques et dont les joints alternants sont consolidés, selon les dimensions des pièces, soit par des clavettes, soit par des couvre-joints (fig. 135, 135).

Pour des arcs ayant une section considérable, on juxtapose deux cours de lames, afin de n'employer que du fer de petit échantillon, résistant mieux à la traction, et aussi pour n'avoir pas à réunir par le même boulon un trop grand nombre de lames.

L'arc supérieur des ponts à grande portée présente la forme d'un tube à section rectangulaire (fig. 132, 135). Lorsque la portée devient considérable, il est bon de relier les deux arcs par des entre-toises.

Les arcs supérieurs et inférieurs sont réunis à leurs extrémités par une espèce de sabot en fonte (fig. 137, 138), ou mieux, en fer, capable de résister aux efforts tranchants qui se manifestent sur les points d'appui.

Les montants verticaux supportant le tablier (fig. 132, 135) sont

formés de cornières, et leur section est celle d'une croix ou d'un double T; ils sont fixés à l'arc supérieur par des boulons et reposent

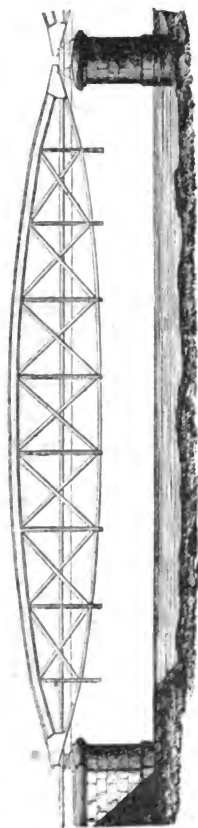


Fig. 129. — Pontes Pauli, — élévation.

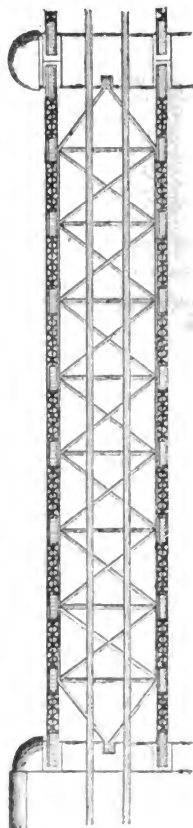


Fig. 130. — Pontes Pauli, — plan.

sur l'arc inférieur, auquel ils sont assemblés de manière à empêcher tout glissement; les montants supportent les pièces de pont.

Les croix de Saint-André (fig. 136) sont formées de lames de

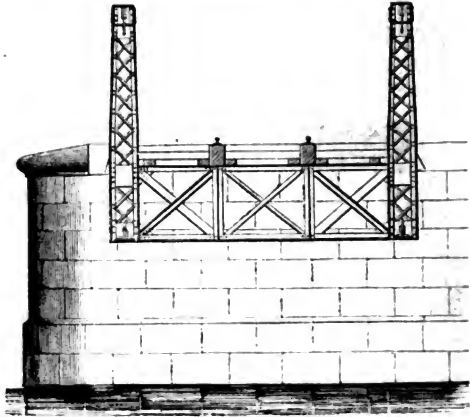


Fig. 131. — Ponts Pauli, — coupe.

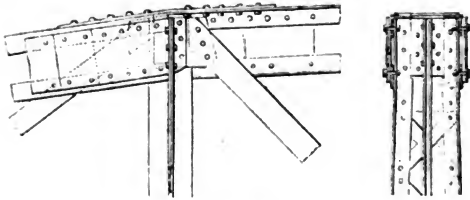


Fig. 132.

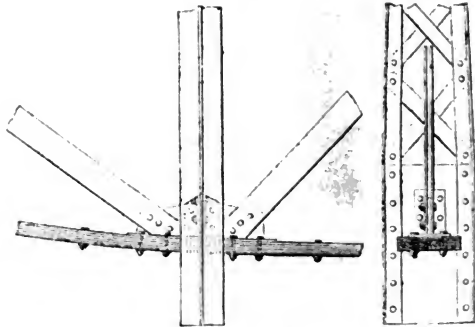
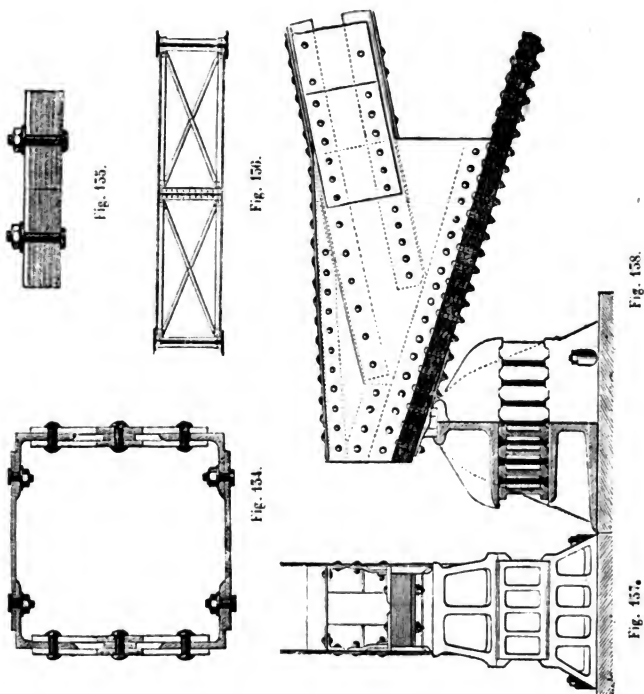


Fig. 133.

fer plat, boulonnées à leurs extrémités sur des goussets rivés avec les arcs et les montants.



Les fermes reposent à chaque extrémité sur un couteau arrondi en acier (fig. 157 et 158), maintenu par des ergots qui empêchent tout glissement dans le sens longitudinal ou transversal. Cette disposition a pour but de ramener la pression dans l'axe des points d'appui, quelle que soit la flexion des poutres.

La base du couteau repose sur deux chaises en fonte, dont l'une s'appuie directement sur la maçonnerie, tandis que l'autre est sup

portée sur des bielles oscillantes, qui compensent les effets de dilatation et de contraction.

M. Pauli attribue surtout à son système l'avantage d'une grande économie de métal.

Ponts avec arcs en fer sous le tablier. --- Parmi les ponts avec arcs en fer placés sous le tablier, nous décrirons le pont du canal Saint-Denis, construit par M. Manton; celui sur la Theiss, à Szegedin, et les ponts du chemin de Rouen.

On a cherché souvent, dans la construction des ponts en arcs de fer comme dans celle des ponts en arcs de fonte, à diminuer l'effet des vibrations en chargeant le tablier de ballast. C'est ce qu'on a fait, par exemple, au viaduc de Lumes, sur la Meuse, près de Mézières.

Pont en fer du canal Saint-Denis (chemin du Nord). — Au chemin de fer du Nord, sur la ligne directe de Paris à Creil, à la traversée du canal Saint-Denis, M. Manton a exécuté un pont en arc où il a cherché à réduire autant que possible le poids mort, sans avoir égard aux vibrations.

La couche de ballast, n'ayant alors que quelques centimètres, n'a d'autre but que d'éviter les chances d'incendie; elle repose sur un plancher en chêne.

Les rails portent sur des longrines, et ces longrines sur des pièces de pont en bois reposant sur les longerons des arcs.

Les arcs, de 45 mètres d'ouverture, sont composés d'une âme (fig. 159) sur laquelle sont rivés quatre rails Barlow; et, pour éviter la concentration de pression que les variations de la température peuvent produire, soit à l'intrados soit à l'extrados des naissances, M. Manton a fait retomber les arcs sur des pivots en acier, de telle façon que la pression aux naissances passe forcément par l'âme de l'arc. Cette disposition est d'autant plus utile que le calcul prouve que les variations de température peuvent produire un grand excédant de travail à la clef.

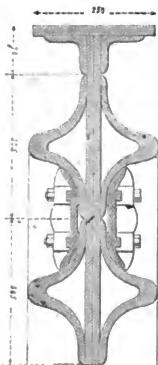


Fig. 159.

L'arc du pont Saint-Denis reposant sur pivots et l'extrémité du longeron portant simplement sur la culée sans encastrement, il en résulte que la triangulation des tympans doit produire tout le roidissement de l'arc. On a été ainsi conduit à donner aux pièces des triangles des sections de plus en plus fortes, en se rapprochant de la clef.

Les arcs en fer, ne présentant pas d'embase comme ceux en fonte, ont encore plus besoin d'un contreventement énergétique.

Pour les ponts à plusieurs travées, les dispositions sont généralement les mêmes. Les ponts en fer étant encore plus légers que ceux en fonte, il faut que les piles intermédiaires soient encore plus fortes proportionnellement, pour détruire une plus grande partie de la poussée supplémentaire due aux surcharges.

Pont sur la Theiss à Szegedin. — On peut citer un exemple curieux d'un pont en fer où l'on n'a pas accepté la condition des piles culées; c'est celui sur la Theiss, à Szegedin.

Ce pont repose sur des piles tubulaires qui eussent été infailliblement renversées si l'on eût laissé reposer les arcs sur le sommet de ces piles sans prendre des dispositions spéciales. Pour parer à cet obstacle, on a continué les piles métalliques jusqu'au niveau du tablier, et on y a amarré solidement les longerons. Il en résulte que lorsque par l'effet de la surcharge un arc exerce sur une pile aux naissances une poussée supplémentaire, elle tend à se renverser, mais qu'elle en est empêchée par la tension du longeron. La variation de température peut alors produire des effets dangereux. Il vaut donc mieux, quand les circonstances le permettent, construire des piles culées.

Ponts en arc sur le chemin de Rouen. — Les ponts en arc de fer, aux environs de Paris, dans les mêmes conditions de portée de charge et de solidité, coûtent un dixième environ moins que ceux en arc de fonte. C'est ce qui est résulté d'un concours établi entre nos plus habiles fabricants pour la construction d'un pont à Chatou, en remplacement du pont en bois, qui était hors de service. On leur avait laissé le choix du système, sous réserve de l'approbation de l'ingénieur en chef, et en leur imposant certaines conditions de résistance.

Pont de Windsor avec arc au-dessus du tablier. — On peut encore citer, à propos des ponts en arc, celui de Windsor. L'arc est ici au-dessus du tablier; les culées sont remplacées par l'entrait formant tablier, et les tympans triangulés, au lieu de relier l'arc au longeron, le relient à l'entrait. Cette solution tient à la fois des ponts en arc et des ponts à poutre droite.

Précautions contre l'oxydation. — On ne saurait trop prendre de précautions contre l'oxydation des ponts en fer, car c'est un ennemi redoutable des constructions de ce genre. Ces ponts doivent toujours être peints en couleurs claires : ils sont alors moins susceptibles d'absorber les rayons solaires, et il devient plus facile de constater l'apparition de la rouille.

Charge imposée au fer. — La charge imposée au fer dans les ponts est de 6 kilogrammes par millimètre carré. On admet aujourd'hui le même coefficient pour la compression et pour la traction. Un certain nombre d'ouvrages toutefois supportent en réalité un effort notablement plus grand, sans que cela ait présenté jusqu'ici aucun inconvénient.

Ponts en fer et fonte. — Quelques ingénieurs anglais ont admis, jusque dans ces derniers temps, l'emploi simultané de la fonte et du fer dans la construction des ponts, mais en limitant la fonte aux parties de ces ouvrages chargées de résister exclusivement à la compression à des flexions transversales modérées. Nous pourrions citer dans ce système le pont de Newark, sur le chemin de fer de Great-Northern (fig. 140), d'une longueur de poutres de 259 pieds (78^m,94). Les parties foncées de la gravure font distinguer les pièces en fonte qui sont employées dans la construction et assemblées avec les parties en fer forgé.

Nous pourrions donner encore l'exemple du pont de la Mersey, de 52 mètres d'ouverture, formé de trois poutres composées chacune d'un arc supérieur en fonte à section en forme de X, relié avec une plate-bande inférieure en feuilles de tôle rivées, sur une double paroi verticale en tôle mince maintenue rigide par des contre-forts et des nervures également en tôle (fig. 141).

Nous donnons ici une travée du beau viaduc de Crumlin, construit dans le même système, et supporté par deux piles composées

de colonnes en fonte reliées entre elles horizontalement par des

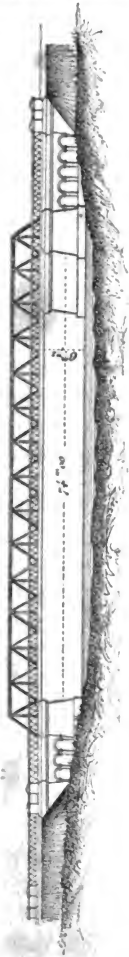


Fig. 140. — Pont de Newark.

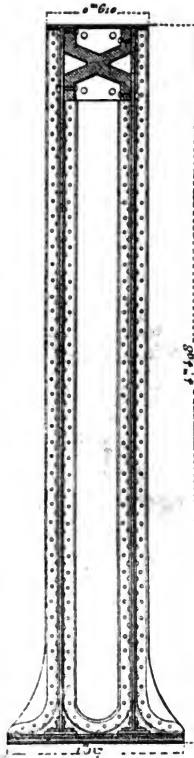


Fig. 141. — Section d'une poutre du pont de la Mersey.

châssis en fonte, et verticalement par des croix de Saint-André en

fer de faible épaisseur; ce viaduc a 498 mètres de longueur entre les culées (fig. 142).

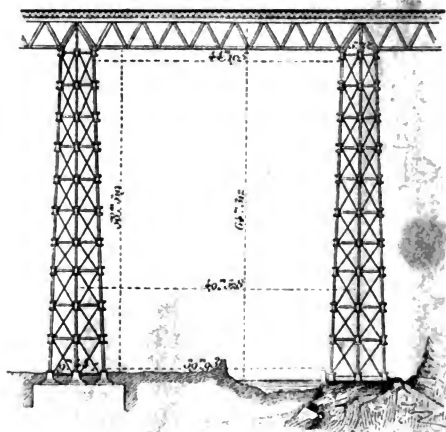


Fig. 142. — Viaduc de Crumlin.

Ponts suspendus. — Pendant longtemps on a considéré le principe de la suspension comme inapplicable aux ponts qui devaient livrer passage à un chemin de fer. M. Robert Stephenson toutefois, dans la pensée que les tubes du pont de Menai n'avaient pas une rigidité suffisante pour se soutenir d'eux-mêmes, avait dans l'origine eu l'idée de les suspendre à des chaînes comme le tablier des ponts suspendus ordinaires. Nous avons entre les mains ce projet, qui nous a été remis par ce célèbre ingénieur lui-même. Ce ne fut que lorsque l'expérience eut prouvé l'inutilité de ces chaînes que Stephenson les supprima. Aux États-Unis, on n'a pas hésité à poser des chemins de fer sur de véritables ponts suspendus. De ce nombre sont le pont sur la Harper, au chemin de fer de Baltimore à l'Ohio, et le grand pont du Niagara (fig. 145).

La portée du premier n'est que de 57^m,80, et on aurait pu tout aussi bien, dans ce cas, établir un pont tubulaire ou un pont en arc.



Fig. 145. — Pont suspendu du Niagara.

La portée du second, au contraire (246 mètres), est énorme et aucun des autres systèmes ne pouvait alors convenir.

Pont sur la Harper. — Le mode de construction du pont sur la Harper est un mode intermédiaire entre celui des ponts à poutre rigide, tels que les ponts tubulaires ou treillisés, et celui des ponts suspendus. Nous en empruntons la description à un manuscrit inédit de M. Grenier.

Ce pont, établi pour une voie, est composé d'un tablier en bois suspendu à deux fermes en fer et fonte dont les extrémités reposent sur de légers supports en maçonnerie.

La poutre en fonte est creuse, sa figure extérieure est octogonale; elle est formée de huit parties de chacune 4^m,75 de longueur assemblées à manchon; les surfaces de contact sont légèrement arrondies, de manière que les flexions du système ne produisent pas d'efforts obliques sur la poutre. Chaque joint repose sur le chapiteau d'une colonnette en fonte dont le pied est relié par deux tirants en fer aux extrémités de la poutre, et supporte, au moyen de boulons de suspension, les poutres en bois ou pièces de pont (fig. 144).

Par cette disposition, le poids du tablier et les surcharges accidentelles, agissant à chaque colonnette, est reporté par les tirants en fer sur les deux points d'appui. Les pressions horizontales résultant de l'inclinaison de ces tirants se font équilibre par l'intermédiaire de la poutre en fonte, qui n'est soumise qu'à des efforts de compression. La ferme est complétée par des croix de Saint-André très-légères en fer forgé reliant les extrémités des colonnettes, et qui servent de pièces auxiliaires en cas de rupture d'une ou plusieurs tringles principales.

Les poutres en fonte des deux fermes sont reliées dans le plan horizontal par un système de croix de Saint-André en fer et de pièces d'écartement en fonte correspondant aux colonnettes. L'ensemble du pont a ainsi la figure d'un tube rectangulaire formé d'un réseau de barres de fer et de fonte.

Dans la combinaison des pièces en fer forgé et en fonte qui constituent les fermes du pont sur la Harper, le fer est soumis à des efforts d'extension et la fonte à des efforts de compression; les deux

métaux sont donc employés dans les conditions qui permettent d'utiliser le mieux possible leurs propriétés. La résistance à la flexion des parties constitutives du système n'entrant pas en jeu, toutes les fibres travaillent également, pourvu que la section des barres soit proportionnée aux forces qui agissent suivant leur axe. La différence entre l'élasticité des deux métaux ne peut être présentée comme une objection à leur combinaison, puisque tous les assemblages sont articulés.

Ce système, qui présente la légèreté des ponts suspendus, a sur ceux-ci l'avantage que toutes ses parties peuvent être visitées et garanties facilement de l'oxydation, et que sa rigidité met un obstacle à l'amplitude des vibrations.

Il y a lieu d'observer en outre que les efforts de tension sont ré-

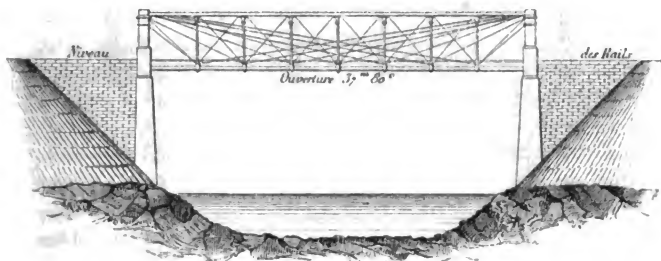


Fig. 144. — Pont sur la Harper.

partis sur un grand nombre de pièces indépendantes, et que la rupture d'une des barres ne saurait avoir des conséquences graves.

Le pont sur la Harper a 57^m,80 d'ouverture; sa hauteur, mesurée entre les boulons d'assemblage des tirants, est de 5^m,20.

Le poids agissant sur chaque ferme est évalué ainsi :

Poids du fer et de la fonte.	10,982 ^k ,08
— de la charpente.	6,801 ^k ,50
— de la surcharge.	75,429 ^k ,28
— représentant les forces vives dues au choc.	11,555 ^k ,50
TOTAL.	102,548 ^k ,16

Sous ce poids, l'effort supporté par les tirants en fer est de $7,254^k,72$ par pouce carré, leur résistance absolue étant de $56,273^k,60$, ce qui correspond à $11^k,25$ par millimètre carré.

Ce pont, depuis sa construction, a été exposé aux températures les plus extrêmes et à un passage journalier de vingt trains en moyenne. Dans les conditions les plus défavorables de température et de charge, la flèche n'a pas dépassé 16 millimètres environ.

Pont suspendu du Niagara. — Le pont du Niagara (fig. 145) est une véritable poutre treillissée d'une grande rigidité suspendue à des chaînes en fil de fer.

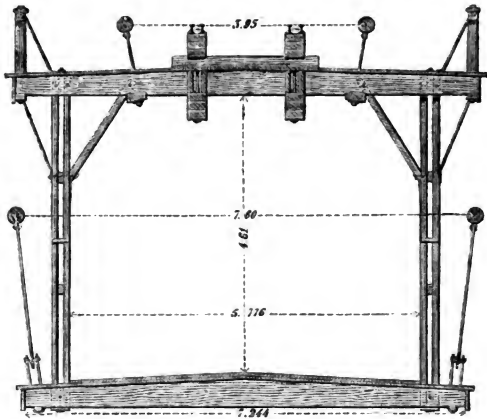


Fig. 145. — Coupe du pont suspendu du Niagara.

Ce pont, qui donne passage en même temps à un chemin de fer et à une route, ainsi que l'indique la coupe transversale (fig. 145), a 246 mètres de portée, et il est établi à 74 mètres au-dessus de la rivière. Il n'a coûté que deux millions de francs. Commencé en 1852, il a été livré à la circulation en 1856. L'ingénieur de ce

pont, M. Ræbling, en construit en ce moment un second sur le Kentucky, qui aura 367 mètres de portée.

Les chaînes de suspension sont au nombre de quatre, et les tiges de suspension au nombre de 624. Le poids total du pont ne dépasse pas 906 tonnes, et la charge accidentelle provenant du passage des trains sur la voie de fer, ainsi que de celui des piétons ou voitures sur la route, ne dépasse jamais 226 tonnes. La résistance des tiges de suspension est bien supérieure à l'effort auquel elles doivent résister, même en supposant qu'il se produisit une secousse soudaine, comme cela pourrait avoir lieu dans le cas d'un ouragan.

La destruction du pont suspendu de Weeling, aux États-Unis, à la suite d'un coup de vent, avait fait naître des doutes sur la solidité des ponts suspendus. M. Ræbling a cherché à dissiper les craintes du public en ce qui concerne le pont du Niagara, en publiant les lignes qui suivent :

« Au pont du Niagara on a pris toutes sortes de précautions pour en assurer la stabilité. Le corps du pont, formant une boîte ou poutre creuse de 7^m,32 de large sur 6^m,40 de profondeur, avec de solides longrines de 1^m,52 d'épaisseur et de forts treillis, possède assez de rigidité pour résister à l'action d'un coup de vent, quel qu'il soit. Toutefois, pour parer à des accidents imprévus, on a fixé le tablier inférieur au moyen de 56 tirants métalliques, soit au roc solide des bords de la rivière, soit à d'énormes masses de roc détachées. Le pont a subi l'épreuve des vents violents qui soufflent dans le pays où il se trouve. Il est hors de doute qu'il ne souffrirait aucun dommage d'un ouragan. Le tourbillon qui causa récemment de si grands ravages dans la ville de Niagara et qui se fit aussi fortement ressentir à Lockport et à Rochester n'agit pas de toute sa force sur ce pont. On ne ressentit qu'un violent choc momentané, accompagné d'une grande obscurité. Ce choc, qui du reste ne dura que quelques secondes, ne produisit pas le moindre effet sur le pont.

« Un train pesant, lancé à la vitesse de 56 kilomètres par heure sur ce pont, occasionne beaucoup moins d'ébranlement que vingt grosses têtes de bétail passant au trot. Les cortèges publics marchant

au son de la musique ou des troupes de soldats marchant au pas produiraient un effet pire encore. Aussi les troupeaux de bestiaux doivent-ils être divisés en groupes de 20 têtes au moins, et l'on n'admet pas au delà de trois groupes ou de soixante bestiaux à la fois sur le pont. Chaque groupe doit être conduit par un homme avec défense de lui laisser prendre le trot. »

Procédé de fondation tubulaire.

Nous avons consulté, pour rédiger cette description, un intéressant Mémoire publié dans le *Compte rendu de la Société des Ingénieurs civils*, par M. Charles Nepveu (juillet, août, septembre 1855), un Mémoire inédit de M. Lavalley, directeur de la grande usine de MM. Gouin et C^{ie}, le travail publié par MM. Vuigner et Fleur-Saint-Denis sur le pont de Kehl, plusieurs notes qui nous ont été fournies par M. Goschler, directeur de la grande usine pour le matériel des chemins de fer, et enfin nos propres notes.

Fondation avec pieux à vis. — MM. Brunel, Cubitt et Stephenson se sont servis avec avantage, dans les fondations d'un grand nombre de ponts ou viaducs, de *pieux à vis*; dans tous les cas, leur emploi s'est montré sûr, rapide et facile. L'enfoncement de ces pieux, munis à la partie inférieure d'un pas de vis, se produit en appuyant la pointe du pieu sur le sol et en imprimant, à l'aide d'un cabestan, un mouvement de rotation à la tige. Le nouveau procédé a été appliqué avec succès à la fondation de plusieurs ponts ou viaducs sur le chemin de fer de l'Ouest.

Fondation avec pieux et palplanches en fonte. — M. Page, dans le pont qu'il a construit sur la Tamise, à Chelsea, a remplacé les pieux et palplanches en bois par des pieux et palplanches en fonte. Ces fondations, qui présentent un haut degré de stabilité, seraient, dit M. Nepveu, en France, d'un prix très-élevé, et demandent, en outre, un temps assez considérable pour leur construction.

Fondation à l'aide du vide. — Tels étaient les progrès faits dans le système des pieux battus et des cofferdams, lorsqu'une idée nouvelle et féconde vint en changer la direction.

M. le docteur Pott's eut l'idée d'agir, non plus sur le pilotis, mais sur le sol, et il se servit pour cela du vide.

Un pieu creux en fonte ou en tôle, ouvert par le bas, est fermé à sa partie supérieure par un couvercle luté avec soin et communiquant avec une pompe pneumatique; il est en partie enfoncé dans le sol baigné par l'eau, et qui peut être de la vase, du sable et même de l'argile. Si l'on manœuvre la pompe à air, dès que la pression aura suffisamment diminué dans l'intérieur du tube, l'eau extérieure ainsi que le sol lui-même, en vertu de la pression atmosphérique, tendront à s'y précipiter; le courant d'eau qui se fera à la partie inférieure sapera le terrain sous le pieu, en rompant les arches naturelles que les parties solides forment entre elles, et le pieu descendra par son propre poids, augmenté de la pression de l'atmosphère sur son extrémité supérieure. Lorsque le tube sera plein, son contenu, composé d'eau et de parties solides, sera enlevé par un moyen quelconque, et on recommencera l'opération jusqu'à ce qu'on ait atteint la profondeur nécessaire.

Une des applications les plus intéressantes de ce système est celle qui en fut faite aux fondations d'un viaduc dans l'île d'Anglesey, sur le chemin de Chester à Holyhead. Une des piles de ce viaduc fut établie sur une plate-forme en fonte supportée par des pilotis; chaque pilotis était un tube de fonte de 0^m,057 d'épaisseur et de 0^m,555 de diamètre extérieur.

Quand ce pieu était arrivé à sa profondeur, on le vidait d'environ 1^m,80, et on le remplissait de béton.

Après le placement des pilotis, on établit le plateau en fonte, puis la maçonnerie.

Ces fondations, faites en 1847, n'ont pas bougé depuis, et on n'y a remarqué aucun tassement, quoique la charge supérieure fût de plus de 500 tonnes, en y comprenant le poids des trains.

Ce procédé n'est applicable que dans les terrains de vase, de sable, de gravier et d'argile.

La figure 146 représente le mode de fondation décrit ci-dessus, tel qu'il a été appliqué à un pont anglais.

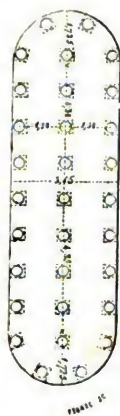
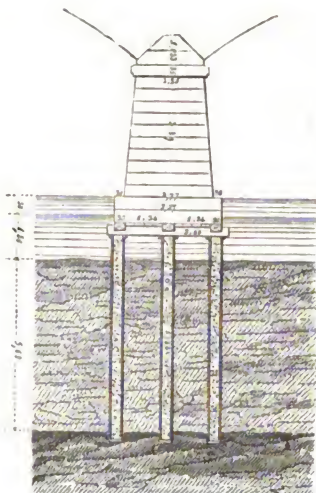


Fig. 146. — Pont d'Anglesey.



Fig. 147. — Pont de Rochester.

Fondation à l'aide de l'air comprimé. — Au pont de Rochester, M. Hughes, qui dirigeait les travaux sous les ordres de M. Cubitt, se rappelant les bons résultats qu'avaient obtenus MM. Triger, Mougel et Cavé, par l'emploi de l'air comprimé, eut l'idée de donner au pilot le caractère d'une cloche à plongeur (fig. 147), en substituant l'air comprimé au vide.

Le même procédé a été appliqué aux fondations du grand pont de Mâcon, sur la Saône.

Procédés employés aux ponts de Rochester et de Mâcon. — Les appareils employés au pont de Rochester et au pont de Mâcon diffèrent peu quant à la disposition d'ensemble. Nous empruntons la description suivante de celui dont on s'est servi au pont de Rochester au Mémoire de M. Nepveu.

A l'emplacement de la pile, on descend sur le fond de la rivière un cylindre en fonte de 1 à 5 mètres de diamètre¹, composé d'une série d'anneaux, et d'une hauteur plus ou moins grande, suivant la profondeur du terrain que l'on veut traverser.

Ce tube TT, ouvert à sa partie inférieure, est fermé à sa partie supérieure par un couvercle fixe C. — Dans ce couvercle se logent deux chambres à air en fonte BB' (fig. 148) destinées à servir d'intermédiaire entre l'intérieur du tube TT et l'extérieur.

Ces deux chambres, dont la section horizontale présente la forme d'un D, un peu espacées entre elles, se trouvent en plan des deux côtés de l'un des diamètres, de manière que leurs parois planes soient placées en sens inverse. La partie du tube qui n'est pas occupée par les chambres et qui est séparée du reste par un plancher percé de deux ouvertures circulaires, est dite *chambre d'extraction*.

Chaque chambre à air est munie d'une ouverture fermée par une soupape S se manœuvrant sur un gond horizontal et tenue appliquée contre l'ouverture par la pression intérieure lorsque cette pression, comme nous le verrons plus loin, dépasse la pression extérieure. Une porte ordinaire P ou P', placée sur le côté plat de la chambre, la fait communiquer avec le cylindre et permet aux

¹ Ces cylindres ont 1 mètre au pont de Rochester, et 5 mètres au pont de la Saône.

bras de deux grues, placées entre les chambres, d'y pénétrer pour y déposer les bennes.

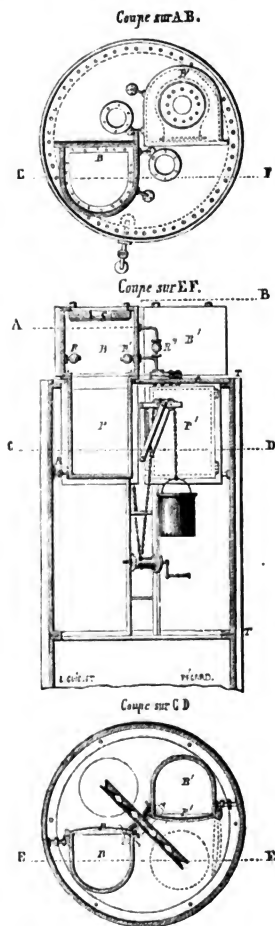


Fig. 148. — Pont de Rochestcr.

Deux séries de robinets R et R', manœuvrables de l'intérieur ou de l'extérieur, servent à mettre en communication la chambre à air, d'une part, avec le cylindre, et, de l'autre, avec l'atmosphère, afin de faciliter le passage des matériaux et la circulation des hommes. Des échelles sont placées dans le tube TT, pour permettre la circulation des ouvriers.

Un système de contre-poids sert à équilibrer le tube TT quand il est rempli par l'air comprimé, qui tend à le soulever.

Un système de charpente sert à le guider dans son mouvement descendant. L'opération a lieu de la manière suivante : on chasse de l'air comprimé dans le tube TT au moyen d'un conduit et d'une pompe à air. Les portes P et P' se ferment. La pression étant suffisante, l'eau qui s'élève dans le cylindre en est chassée soit en dessous quand le sol est assez perméable, soit par un siphon quand il est imperméable. Quand elle est chassée en dessous, il se pro-

duit un bouillonnement autour de la base qui soulève le sol et facilite la descente du tube.

Des ouvriers placés dans le tube TT creusent le sol et logent les déblais dans un panier. Le panier rempli, on établit la communication entre le tube TT et l'une des chambres à air. La porte P de communication étant ouverte, on monte le panier plein à l'aide de la corde et du treuil, puis l'on interrompt la communication entre le tube et la chambre à air; on ferme la porte P et on met la chambre à air en communication avec l'atmosphère. La soupape S s'ouvre, et on enlève les déblais à l'extérieur. On continue de la même manière à creuser le sol dans l'intérieur du tube en augmentant la pression de l'air dans ce tube toutes les fois que cela est nécessaire.

Les ouvriers travaillent ainsi dans l'air comprimé. Ils se fatiguent beaucoup, et on a reconnu que lorsque la hauteur de l'eau jointe à la hauteur de la fondation dans le sol dépassait 25 mètres, la compression devenait telle, que les ouvriers étaient incapables de résister.

On fait descendre verticalement le gros tube dans le sol en le chargeant convenablement et en laissant échapper momentanément l'air comprimé, afin de détruire la sous-pression qui tend à le soulever. Dès qu'il a atteint la profondeur voulue (15 mètres au pont de Lyon), on coule au fond un lit de ciment romain, qui s'oppose à l'introduction de l'eau par le bas, puis on achève de remplir ce tube avec du béton ordinaire.

Les piles au-dessus de l'eau sont renfermées dans des cylindres de 2^m,50 seulement de diamètre, raccordés avec le tube inférieur par une partie cylindro-conique. Chaque pile aux ponts de la Saône repose sur trois cylindres juxtaposés, reliés entre eux par des entretoises. La dépense a été de 87,000 fr. environ par pile.

Au pont de Rochester, les tubes, n'ayant qu'un mètre de diamètre, sont au nombre de huit pour chaque pile, comme l'indique la figure 147.

Au pont de Mâcon (fig. 149 et 150), les tubes, ayant 5 mètres de diamètre, sont au nombre de trois seulement. Ils sont reliés les uns aux autres par des panneaux en fonte à jour.

PONT DE MAÇON.

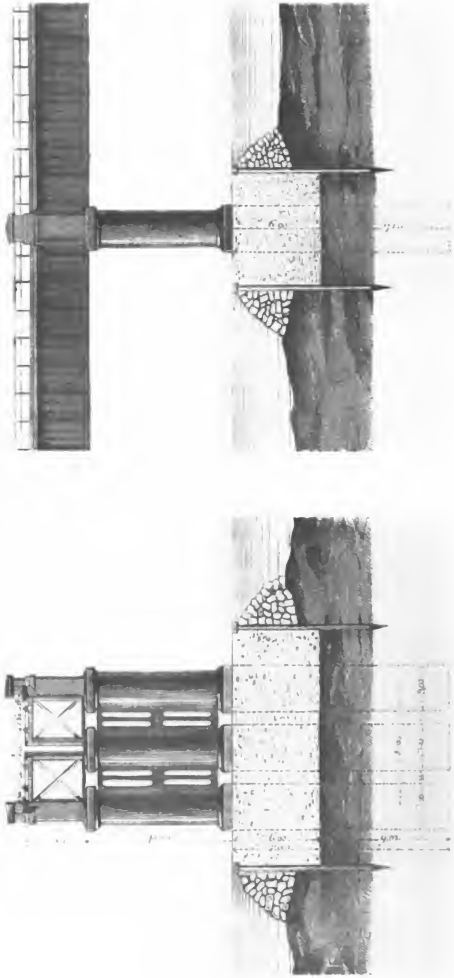


Fig. 139. — Elevation latérale.

Fig. 140 — Coupe transversale

Au pont de Rochester, les piles sont en pierre; au pont de Mâcon, elles sont en fonte. Les piles en fonte du pont de Mâcon sont remplies de béton comme les tubes de fondation et protégées contre le choc par une enveloppe de béton enfermée dans les palplanches sur lesquelles s'appuient des enrochements. Au pont de Rochester, les piles ne sont pas protégées.

Procédé employé au pont de Bordeaux. — Les sorties d'air au moyen desquelles on obtenait l'enfoncement aux ponts de Rochester, de Mâcon et de la Quarantaine, ont le grand inconvénient de faire descendre les colonnes par chutes brusques, ce qui les fait souvent dévier de la verticale si elles ne sont fortement guidées au moyen d'étais appuyés sur l'échafaudage.

De plus, l'eau rentrant dans les tubes quand la pression de l'air ramène avec elle une grande quantité de terre, augmente le déblai et désagrège le terrain autour des colonnes aussi bien qu'au-dessous.

Au pont de Bordeaux, où l'on a aussi employé le procédé Triger pour la fondation des piles, on a, pour régler et diriger l'enfoncement des tubes, accumulé sur l'échafaudage, comme l'indiquent les figures 151 et 152, un poids suffisant pour contre-balancer la sous-pression et le frottement sur les parois des tubes, et pour enfoncer les colonnes on s'est servi de quatre presses hydrauliques s'appuyant sur des poutres reposant sur les colonnes à enfoncer. Les tiges des pistons des presses, quand on les faisait agir, tendaient à soulever les contre-poids et à en reporter par conséquent la charge sur la colonne.

En faisant agir toutes les presses ou quelques-unes seulement, on a obtenu des enfoncements presque continus et parfaitement verticaux.

Cette disposition, outre les frais qu'elle entraîne, a le défaut de charger considérablement les tubes, ce qui peut en provoquer la rupture. Cet accident est arrivé une fois au pont de Bordeaux. Un des anneaux composant le sas à air éclata et les morceaux en furent projetés du dedans au dehors.

Afin de pouvoir rallonger les tubes au fur et à mesure de leur enfoncement sans vider la colonne de l'air comprimé qui la remplit, voici comment on opère : après avoir débarrassé le tube supérieur du sommier des presses hydrauliques, on ajoute un certain

PONT DE BORDEAUX.

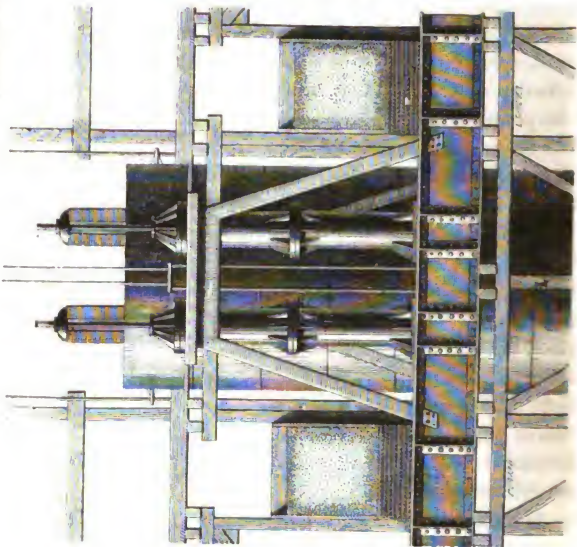


Fig. 151

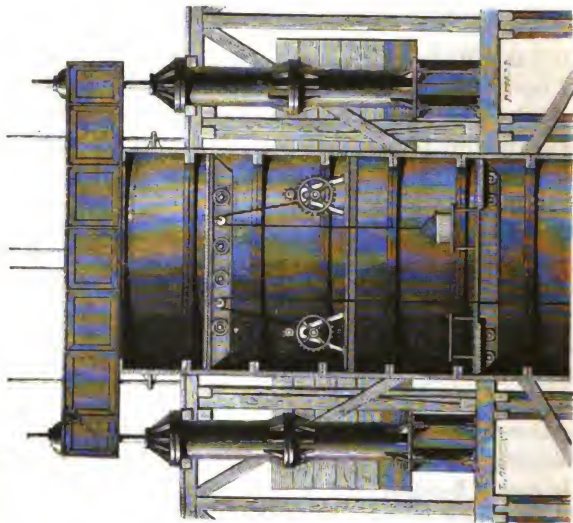


Fig. 152

nombre d'anneaux dont on fait les joints avec soin, et on les boulonne fortement à l'aide des brides intérieures. — Ceci fait, on enlève le plancher supérieur ou plafond du sas à air, et on le remonte pour le boulonner sous la bride supérieure du dernier anneau. — Cette opération terminée, on introduit de l'air comprimé dans cette partie de l'appareil à une pression égale à la pression intérieure du tube. On remonte alors le plancher inférieur, qu'on revient boulonner à la hauteur nécessaire pour le service, et on continue l'extraction des déblais.

Pont de Kehl. — Au chemin de fer de l'Est, lorsqu'il s'est agi de fonder les piles du pont du Rhin, construit vis-à-vis de Kehl dans un fond de gravier d'une profondeur indéfinie, on songea d'abord à employer le procédé Triger. Mais ce procédé, pour la fondation des piles de grandes dimensions de ce pont, dans un courant exceptionnellement rapide, eût été long et coûteux; l'extraction des déblais, surtout au travers des écluses d'air, est lente et dispendieuse, et le poids du métal qui reste perdu dans les fondations est considérable. Il était important surtout de pouvoir exécuter le travail dans l'espace de temps compris entre deux crues de la rivière. M. Fleur-Saint-Denis, ingénieur des ponts et chaussées, ancien ingénieur principal au chemin de fer de l'Est, guidé par M. Vuignier, ingénieur en chef, a imaginé pour cela une méthode nouvelle (fig. 155, 154 et 155), plus expéditive, et, *dans l'espèce*, plus économique.

Au lieu de cylindres en fonte, M. Fleur-Saint-Denis emploie d'énormes caissons rectangulaires en tôle, longs de 7 mètres et larges de 5^m,80, fermés dans le haut et ouverts dans le bas comme les cylindres en fonte. Il juxtapose plusieurs caissons comme on juxtapose plusieurs cylindres. L'opération est la même pour chaque caisson.

Le caisson, étant moins haut que le cylindre est, une fois posé sur le sol, entièrement plongé dans l'eau; dans la paroi supérieure, formant couvercle, sont percés trois trous cylindriques; deux trous latéraux chacun de 1 mètre de diamètre et un trou central de 4^m,50. Deux tuyaux ou cheminées cylindriques en tôle sont fixés aux bords des trous latéraux et s'élèvent jusqu'au-dessus de l'eau. Elles sont surmontées chacune d'une chambre à air semblable à celles

décrites en parlant de l'ancien procédé des tubes en fonte. Le trou du milieu donne passage à une troisième cheminée centrale qui est

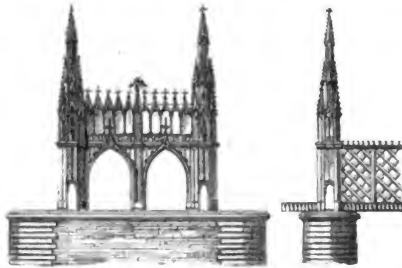


Fig. 157.

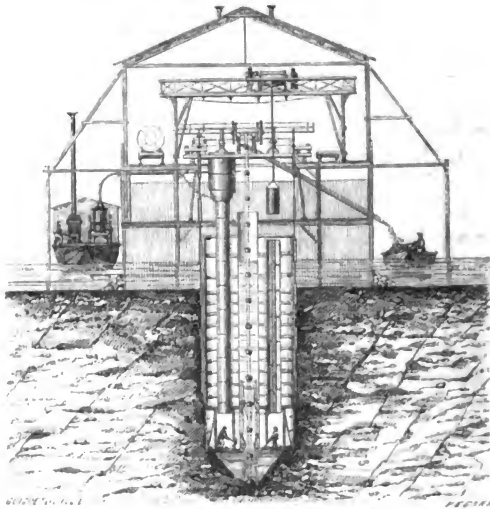


Fig. 154. — Pont de Kehl.

ouverte aux deux bords et descend à travers le caisson jusqu'au fond de la rivière.

L'eau, au moment de l'immersion, s'élève dans l'intérieur du caisson et dans les trois tuyaux au même niveau qu'à l'extérieur ou à peu près. On chasse, à l'aide d'une pompe foulante, de l'air dans les deux

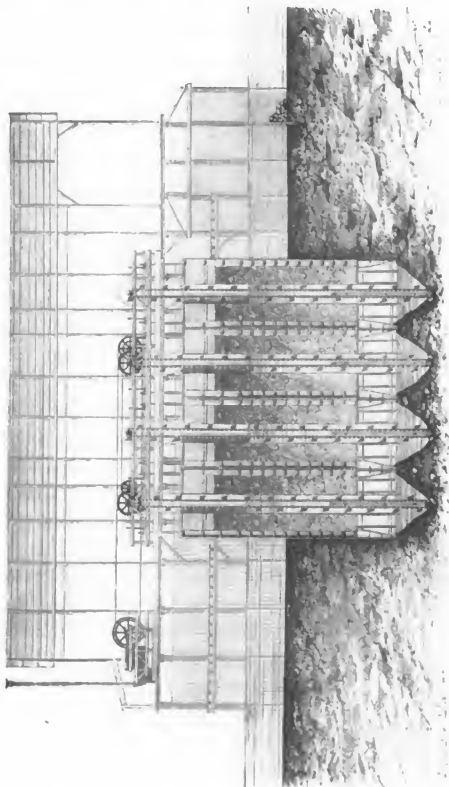


Fig. 135. — Pont de Kehl.

cheminées latérales, de manière à en refouler l'eau ainsi que celle de la partie du caisson qui enveloppe la cheminée centrale, et à remplir les tubes latéraux et cette partie du caisson d'air comprimé.

La cheminée centrale reste ainsi remplie d'eau. Les ouvriers sont introduits dans le caisson ou en sortent par les cheminées latérales et au moyen des écluses d'air. Quant aux déblais, ils sont extraits au moyen d'une noria logée dans la cheminée centrale et plongée pour la plus grande partie dans la colonne liquide. La chaîne étant mise en mouvement par une machine, les godets montent de la partie inférieure de la cheminée à la partie supérieure. Ils se chargent à la partie inférieure de gravier que les ouvriers enlèvent avec leurs outils tout autour de la caisse sous les bords et repoussent en bas de la cheminée centrale, et ils se vident à la partie supérieure dans un conduit incliné en bois par lequel le gravier glisse dans un bateau où on le recueille.

Les cheminées latérales ainsi que les sas à air qui les surmontent servant alternativement, l'une de ces cheminées est séparée de son sas à air, afin qu'on puisse l'allonger, tandis que l'autre en est recouverte. C'est ce qu'indique la figure 154. Il va sans dire que la cheminée en voie d'allongement est fermée à l'intérieur, afin que l'air comprimé ne puisse s'échapper.

Pour le fonçage de la première pile, on a élevé au-dessus des parois latérales du caisson une caisse en bois dans l'intérieur de laquelle on a coulé du béton qui sert en même temps à charger le caisson et à former le corps de la pile autour des cheminées. Les caissons en tôle étaient suspendus à des verrins au moyen desquels on a pu modérer et régler la descente de l'appareil.

Les caissons en tôle, arrivés à la profondeur voulue, ont été à leur tour remplis de béton, ainsi que les vides ou puits cylindriques laissés par les cheminées après leur enlèvement. Les cheminées en tôle ont été réemployées sur les autres piles. Pour faciliter l'extraction des cheminées, on avait construit un petit mur en briques tout autour, à une faible distance de leurs parois.

Pour les trois dernières piles, on a supprimé le caisson en bois et on a élevé sur les caissons en fer, au fur et à mesure de leur descente, un massif continu de maçonnerie parementée en libages ou en moellons millés; on a aussi supprimé les cheminées centrales en tôle, en se bornant à parementer en briques les parois du puits contenant la drague verticale, et on a ovalisé cette cheminée pour

donner plus d'espace à la noria. Enfin on a réuni d'une manière invariable les caissons d'une même pile, et on a établi entre eux des communications qui ont facilité beaucoup le travail en permettant aux ouvriers de se porter facilement d'un caisson dans l'autre, suivant les besoins.

Ces modifications ont eu pour résultat une économie notable, surtout dans la durée du travail. Les deux piles culées du pont de Kehl, étant doubles en volume des piles intermédiaires, sont fondées chacune sur quatre caissons. Les piles intermédiaires le sont sur trois seulement.

Le travail s'est exécuté avec une grande rapidité : la première pile culée, cubant 5,000 mètres, a été exécutée en 54 jours, la seconde en 51 jours; la première pile intermédiaire en 25 jours, la seconde en 24 jours.

M. Fleur-Saint-Denis se proposait d'enfoncer un seul caisson de très-grande dimension pour chaque pile. Il n'a divisé la pile entre plusieurs caissons que d'après les conseils d'ingénieurs haut placés dans le corps des ponts et chaussées, qui craignaient que la manœuvre de caissons si volumineux ne devint très-difficile.

Il y a lieu de penser toutefois qu'il n'eût pas été impossible de fonder chaque pile au moyen d'un seul caisson, car les modifications introduites dans les trois dernières piles reviennent à peu près à cela, puisque les caissons juxta-posés, réunis d'une manière invariable et communiquant entre eux, n'en forment en réalité qu'un seul; toutefois la division en quatre caissons, entraînant un plus grand nombre de cheminées d'extraction, a eu pour résultat de faciliter et d'abrèger singulièrement le travail d'enlèvement des déblais, et par suite la durée de la descente, et, sous ce rapport, il est heureux qu'il ait été adopté dès le principe de préférence à celui d'un seul caisson avec une seule cheminée d'extraction ou même avec deux.

Le procédé du pont du Rhin a été employé avec quelques modifications légères pour la fondation du pont de la Voulte. Pour d'autres ponts dont nous parlerons plus loin, on n'a pas conservé le mode d'extraction des déblais à l'aide d'une noria, qui, du reste, est inapplicable dans les terrains argileux; mais on a adopté le

caisson avec cheminée et chambre d'air pour l'enlèvement des déblais, et on a construit la maçonnerie sur ce caisson comme au pont du Rhin. *La construction du pont de Kehl a donc été l'origine d'un grand progrès dans les procédés de fondation tubulaire, la substitution générale du poids de la maçonnerie aux poids artificiels, et, dans certains cas, l'emploi de la noria comme mode d'extraction au lieu de bennes.*

Pont sur le Rhône à la Voulte. — Au pont de la Voulte, sur le Rhône, on a modifié de la manière suivante le procédé appliqué au pont de Kehl :

La chambre de travail, au lieu d'être composée de plusieurs caissons indépendants, réunis entre eux pour l'enfoncement, consiste en une seule caisse en tôle ayant les dimensions nécessaires pour servir, sans empatement exagéré, de base à la pile projetée. Cette chambre, dont les parois sont formées de tôle de 0^m,04 d'épaisseur et sont consolidées au moyen d'armatures en tôle et cornières, a 2^m,60 de hauteur. Une enveloppe en tôle de 0^m,004 d'épaisseur s'élève au-dessus du plafond en continuant les parois jusqu'au-dessus du niveau de l'eau.

Les déblais sont enlevés au moyen d'une noria placée dans l'axe de la pile, comme au pont du Rhin. Deux cheminées de service munies de sas à air permettent aux ouvriers d'entrer dans la chambre de travail ou d'en sortir. De même aussi qu'au pont de Kehl, le caisson est suspendu à des verrins, et le béton est coulé dans l'enveloppe en tôle au-dessus du caisson.

Ponts du chemin de Saint-Petersbourg à Varsovie. — Nous empruntons les lignes suivantes, sur les ponts du chemin de Saint-Petersbourg à Varsovie et sur le pont de Varsovie, aux notes qui nous ont été fournies par M. Lavalley.

Le chemin de fer de Saint-Petersbourg à Varsovie traverse les bassins de deux grands fleuves, la Dwina et le Niémen, et de plusieurs affluents importants de la Vistule, notamment le Bug et la Narcia.

Le climat et la constitution géologique du pays rendaient la traversée de ces rivières difficile. Tous les ans elles se couvrent d'une glace très-épaisse, et au printemps il se produit sur la Dwina, et sur

le Niémen surtout, des débâcles dont nous ne pouvons nous faire aucune idée. Les moindres obstacles un peu résistants, s'opposant aux premiers glaçons, les arrêtent; de nouveaux blocs leur faisant suite s'engagent en dessous, tandis que d'autres passent par-dessus. Il se forme ainsi de véritables montagnes qui barrent la rivière et produisent des dénivellations atteignant quelquefois plusieurs mètres. On peut se figurer quelle énorme pression ont alors à supporter les obstacles, premières causes de ces barrages, et l'effrayante vitesse avec laquelle se précipitent ces énormes masses quand la digue de glace vient à céder.

Pour en combattre l'effet avec une certaine efficacité, il fallait donner aux arches des ponts la plus grande ouverture possible, et, en outre, il fallait donner aux piles, en même temps, la forme la meilleure pour ne pas arrêter les glaçons, et une résistance suffisante.

Le défaut de matériaux et la brièveté des campagnes ne permettaient pas de construire les piles en pierres de taille. On recourut alors à l'emploi des tubes remplis de béton.

Les colonnes portant le tablier sont au nombre de deux, et elles sont protégées par des brise-glaces en fonte dont l'arête exposée au choc des glaces est inclinée suivant une pente, variant avec l'importance des débâcles de 1 sur 4 à 2 sur 3.

La hauteur des crues des rivières, les niveaux par conséquent très-variables auxquels se font ces débâcles, forcent à donner à ces brise-glaces une très-grande élévation, et, par suite de leur inclinaison, une très-grande longueur. Il est devenu nécessaire ainsi de les soutenir au moyen de deux tubes enfoncés à la même profondeur que ceux qui portent le tablier.

Ces colonnes de brise-glaces sont arrasées à l'étiage, où elles se terminent par un épais dallage en pierre de taille recevant la base du brise-glaces.

Dans tous ces ponts, les tubes en fonte ont une épaisseur considérable sur toute la longueur exposée au choc des glaces, c'est-à-dire depuis 4 mètres au-dessous de l'étiage jusqu'à 4^m,50 au-dessus des plus grandes crues.

Ils sont de plus, dans toute cette partie, armés à l'intérieur de nervures horizontales et verticales ayant 100 millimètres de hau-

teur sur 60 d'épaisseur, et un écartement moyen de 550 millimètres. La paroi a 65 millimètres d'épaisseur. Le béton, fait avec soin, se compose de 1 partie en volume de ciment de Portland, 2 de sable et 5 de cailloux.

Les fontes des tubes venant de l'étranger, devant supporter en outre la fatigue de longs voyages à l'intérieur, on composa chaque anneau de plusieurs morceaux. Il en résulta un grand nombre de joints pouvant donner lieu à des fuites que l'on évita en faisant la partie inférieure du tube en tôle sur une hauteur de quatre à cinq mètres. Ce tube en tôle portait à son extrémité supérieure une large bride servant à faire joint avec le premier anneau en fonte, et à supporter un diaphragme en tôle fortement armé. Ce diaphragme était traversé par deux cheminées aboutissant à une chambre contenant deux sas à air. Les déblais étaient extraits à la benne.

En remplissant d'eau ou même de déblais le tube au-dessus du diaphragme, on obtenait une charge qui, avec le poids du métal, suffit presque toujours pour produire l'enfoncement sans qu'on dût faire sortir l'air comprimé. Quelquefois seulement, alors qu'on était arrivé dans l'argile compacte qui existe partout sous le gravier et le sable, on recourut à de légères diminutions de pression qui déterminèrent la descente sans qu'il rentrât ni terre ni eau.

On peut éviter ainsi l'emploi dispendieux des contre-poids. On aurait pu, au lieu de mettre de l'eau, couler immédiatement le béton définitif sur le diaphragme en laissant autour des cheminées un espace suffisant pour qu'on pût ensuite les extraire facilement. Mais on voulait se réserver, pour le cas où la colonne se fût enfoncée de travers, la faculté de la décharger, puis de la soulever comme on l'avait fait une fois au pont de Szegedin. Cette précaution fut inutile : grâce à la charge, qui permettait la descente graduelle sans sorties d'air, les colonnes s'enfoncèrent verticalement. L'emploi de l'eau eut d'ailleurs cet avantage de permettre l'emploi successif du diaphragme pour plusieurs tubes.

Le même procédé a été employé par MM. Gouin à la fondation du pont de Varsovie, et le bétonnage effectué dans la première campagne. Pendant la seconde (celle de 1861 surtout) les travaux ont marché avec une rapidité remarquable.

La débâcle de la Vistule eut lieu le 17 février, en sorte que les premiers pieux du second échafaudage ne purent être enfoncés que le 26 mars et à la fin d'octobre; les seize tubes des quatre dernières piles étaient mis à fond.

Pont de Varsovie. — Le pont de Varsovie repose sur un terrain de sable et de gravier très-mobiles, affouillé fréquemment à de très-grandes profondeurs. Au-dessous du sable, à des profondeurs variant de 1 mètre à 9 mètres, on trouve de l'argile très-résistante.

Les débâcles de la Vistule, quoique moins redoutables que celles de la Dwina ou du Niémen, exigent cependant certaines précautions.

Le chemin de fer de Cracovie à Varsovie permet de faire venir en abondance, et à un prix raisonnable, du granit de Silésie, tandis qu'on trouve, aux environs même de Varsovie, un grès rouge de très-bonne qualité.

Ce pont enfin n'était destiné qu'à faciliter la circulation des voitures s'opérant aujourd'hui par un pont de bateaux. Il n'y avait donc pas un très-grand intérêt à le terminer promptement.

Dans ces conditions, on adopta les dispositions suivantes :

La culée de la rive droite fut fondée sur un massif de béton coulé dans une enceinte que l'on dragua jusqu'à l'argile, qui, en ce point, se trouve à une petite profondeur.

Les piles, dont l'avant-bec est incliné de 45 degrés pour diviser et briser les glaçons en les soulevant, sont, à partir de 13^m,70 au-dessous de l'étiage, en pierre de taille. Le granit y est employé à l'extérieur, le grès rouge à l'intérieur.

Cette maçonnerie repose sur quatre colonnes, dont deux de 5^m,490 de diamètre, et deux de 2^m,755. Les deux grosses colonnes se trouvent en dessous des poutres principales du tablier; l'extrémité des brise-glaces s'appuie sur les petites colonnes, la seconde est placée entre les deux grosses. Des grillages en fonte, portant sur les bords de ces colonnes, servent d'appui à la maçonnerie des piles dans l'intervalle.

La colonne des tubes se compose, comme au chemin de Saint-Petersbourg à Varsovie, d'une partie inférieure ou chambre de tra-

vail en tôle ayant 4^m,270 de hauteur; puis d'une partie en fonte dont chaque anneau est formé de quatre morceaux dans les petites colonnes, et de douze dans les grosses.

Un diaphragme en tôle, ayant la forme d'un tronc de cône, forme la chambre de travail et supporte l'eau ou quelquefois la terre qui remplit la colonne pour faire contre-poids à la sous-pression et pour vaincre la résistance opposée par le frottement du sol. Les deux cheminées de service aboutissant au sas étaient implantées sur la base supérieure du tronc de cône. Les déblais étaient extraits par les sas comme aux ponts du chemin de fer de Varsovie à Saint-Pétersbourg. La colonne de tubes étant parvenue à fond, on coula au fond une couche de béton sur laquelle s'éleva une maçonnerie de moellons hourdée en mortier.

Une enceinte en palplanches, battue tout autour de la pile, permit de retirer les tubes supplémentaires, de placer les grillages et de travailler aux maçonneries.

Les travaux marchèrent avec rapidité. Les tubes de la première pile furent mis à fond et bétonnés dans la première campagne.

Procédé du pont d'Argenteuil. — Au pont d'Argenteuil, le terrain est de nature telle, que le procédé du pont de Kehl y est inapplicable. Les piles y sont d'ailleurs de dimensions fort inférieures à celles de ce dernier pont. M. Castor, qui avait construit, en qualité d'entrepreneur, les piles du pont de Kehl, a proposé d'y appliquer un procédé intermédiaire. Ce procédé consiste à poser d'abord sur le sol, pour ensuite l'y enfoncer, un caisson circulaire en tôle surmonté d'une grande cheminée en tôle terminée par un sas à air (fig. 156), l'axe de la cheminée se confondant avec celui du caisson, et de surmonter le caisson d'une enveloppe en tôle de même diamètre. Le sas à air, la cheminée et le caisson devaient être, pendant le travail, remplis d'air comprimé, et le sas aurait servi à l'entrée et à la sortie des ouvriers aussi bien qu'à l'entrée et à la sortie des déblais.

La maçonnerie en pierre ou en béton se serait élevée en même temps que le caisson aurait descendu dans le sol au-dessus de ce caisson, et en aurait provoqué l'enfoncement par son poids. Le caisson arrivé à fond, la cheminée aurait été retirée avec le sas à air.

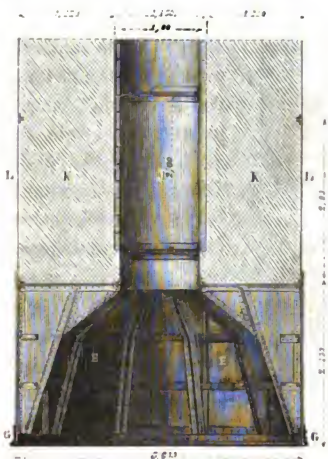
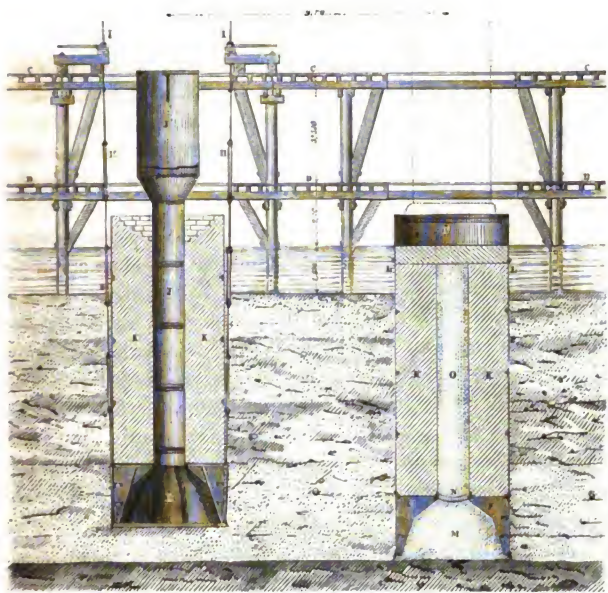


Fig. 156. — Pont d'Argenteuil. Procédé proposé par l'entrepreneur.

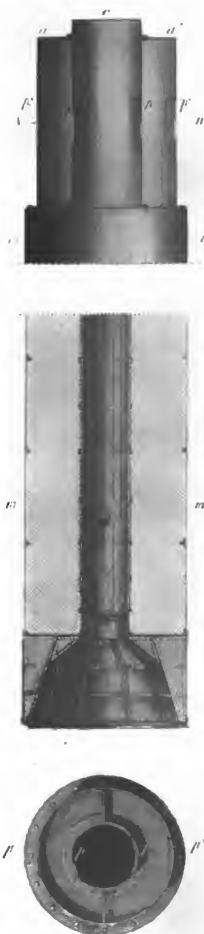


Fig. 157. — Procédé adopté par la Compagnie.

et le vide qu'elle aurait laissé aurait été rempli de béton. L'allongement de la cheminée se serait fait en retirant le sas à air et laissant échapper tout l'air comprimé, qui aurait rempli le sas, la cheminée et le caisson.

La Compagnie, dont la pensée avait été d'abord d'employer purement et simplement le procédé Triger, s'était approvisionnée à cet effet d'un certain nombre de tubes en fonte. M. Castor, obligé de les employer au lieu de l'enveloppe en tôle mince que comportait son projet, a modifié de la manière suivante le procédé (fig. 157). Il a surmonté la colonne en fonte qui pénètre dans le sol d'une autre colonne courte et de diamètre un peu plus petit aa' , traversée par un tube c ouvert dans le bas et fermé dans le haut. En p' , p' et p , p , sont des portes qui peuvent s'ouvrir ou se fermer à volonté.

Une pompe foulante, mise en mouvement par une machine à vapeur, envoie par un conduit latéral de l'air dans le tuyau c . Cet air, chassant au dehors l'eau qui a pénétré dans le tube mm' , remplit d'air comprimé en même temps ce tuyau, l'espace dans lequel travaillent les ouvriers sous un chapeau-tronc conique, et une cheminée en bois qui s'élève au-dessus du tronc de cône. Avant de poser le sas à air sur la colonne de tuyaux, on verse du béton dans l'espace annulaire compris entre le tronc de cône, la cheminée en bois et l'enveloppe en fonte jusqu'à l'extrémité supérieure de la che-

minée. Ce béton, par son poids, contre-balance la sous-pression et le frottement du grand tube contre le terrain.

L'espace annulaire compris entre le tube *c* et l'enveloppe du sas à air est divisé, comme l'indique le plan (fig. 157), en deux compartiments égaux par une paroi. Pour commencer le travail, on ouvre la porte d'un de ces compartiments, celle *p'*, par exemple, du compartiment de droite. On introduit les ouvriers dans ce compartiment, et on ferme la porte. Puis on remplit graduellement le compartiment d'air comprimé. On ouvre ensuite la porte *p*, et on fait passer les ouvriers dans le cylindre *c*, d'où ils descendent en passant par la cheminée dans la chambre tronc-conique. La sortie des ouvriers ou l'extraction des déblais s'opère par une manœuvre inverse. On vide alors le compartiment au lieu de le remplir. Chaque compartiment sert successivement pour l'entrée ou pour la sortie, en sorte que, celui de droite étant rempli d'air comprimé, celui de gauche ne contient que de l'air à la pression ordinaire, ou *vice versa*.

Les tubes s'enfonçant dans le sol, on allonge la cheminée en bois, et on introduit une nouvelle quantité de béton. Pour cela on peut introduire le béton par le sas ou enlever le sas, laisser échapper l'air comprimé et le charger directement.

Les tubes arrivés à fond, on remplit l'espace tronc-conique de béton. On enlève la cheminée en bois et on remplit le vide qu'elle laisse également de béton. La colonne de tubes enfoncée dans la rivière ou dans son lit a 5^m,60 de diamètre; la colonne au-dessus de l'eau n'a que 5^m,20, elle est réunie à la colonne inférieure par un anneau tronc-conique. Chaque pile est composée de deux colonnes juxtaposées.

Le tube en bois est composé de petites douves maintenues par des cercles en fer qui, au lieu d'être extérieurs comme ceux des tonneaux, sont intérieurs. Ces cercles pressent les douves contre le béton. Quand le travail d'enfoncement des tubes est terminé, on enlève ces cercles en fer, et les douves en bois sont alors facilement extraites.

On a par ce dernier mode d'exécution fait l'économie de la grande cheminée employée dans le projet de M. Castor, cheminée coûteuse,

parce que la tôle des parois, devant résister à la pression de l'air comprimé, doit être fort épaisse. Avec l'enveloppe extérieure en tôle mince il n'eût pas été possible d'employer une cheminée en bois, puisque alors cette enveloppe dans la partie supérieure aurait dû résister à la pression de l'air comprimé, ce qui était impossible; mais l'emploi d'une enveloppe épaisse en fonte étant devenu, comme nous l'avons dit, obligatoire pour l'entrepreneur, il a supprimé avec raison la cheminée en tôle épaisse.

Fondation du pont de Saltash. — La pile unique du grand pont de Saltash, sur un bras de mer près de Plymouth, a été également fondée au moyen de l'air comprimé; mais le travail a été exécuté dans des conditions tout à fait exceptionnelles.

Il s'agissait d'établir cette pile sur un fond de rocher à 25 mètres au-dessous du niveau de la haute mer. Le rocher était recouvert d'une épaisseur d'environ 5^m,20 de vase.

L'attaque du rocher était très-difficile, et il eût été impossible d'en effectuer le déblai, à raison de la profondeur d'eau à traverser.

M. Brunel se décida à construire un cylindre en tôle de 26^m,85 de hauteur moyenne, capable de dépasser de 1^m,85 le niveau des plus hautes eaux, après son échouage sur le fond du rocher.

Mais une nouvelle difficulté se présentait : le rocher avait une inclinaison générale qui exigeait que la base du cylindre fût taillée suivant cette inclinaison pour reposer du premier coup, le plus exactement possible, sur la surface du roc : c'est ce qui fut exécuté.

Ce cylindre avait des dimensions telles, qu'il devait comprendre à l'intérieur la totalité de la maçonnerie formant la base de la partie de la pile qui surgissait au-dessus du niveau de l'eau, et qui, à partir de ce niveau, devait se composer de quatre colonnes en fonte destinées à porter les extrémités de chacune des deux grandes travées du pont, de 158^m,68 de longueur chacune. Le problème consistait donc à échouer le cylindre, à le lier solidement au roc de manière à isoler complètement sa capacité, à le vider ensuite et à maçonner à l'intérieur du cylindre comme à l'intérieur d'un batardeau.

Le cylindre ayant 10^m,66 de diamètre à sa base, il était impos-

sible de songer à y entretenir, au moyen des appareils pneumatiques ordinaires, le volume d'air que nécessitait l'emploi d'un certain nombre d'ouvriers travaillant sous une hauteur d'eau de 25 mètres, c'est-à-dire sous une pression de 2 à 5 atmosphères. Il fallait évidemment, pour assurer l'effet des appareils, réduire le plus possible la capacité à livrer aux travailleurs. C'est dans ce but que M. Brunel avait composé son cylindre de deux parties : celle du fond, munie d'une calotte sphérique constituant une première capacité dans laquelle on devait exercer la pression, et celle supérieure, qui pouvait être enlevée une fois le travail de maçonnerie achevé jusqu'au-dessus des plus hautes eaux. Dans le pourtour de la partie inférieure régnait une cloison intérieure concentrique avec la paroi extérieure, formant chambre annulaire à compartiments, mise en communication avec l'extérieur au moyen d'un tube dit pneumatique, lequel était enfermé dans un anneau de plus grand diamètre.

Le tube pneumatique était destiné à comprimer de l'air dans la partie annulaire où les ouvriers travaillaient sous une pression de 2 à 5 atmosphères, afin de faire équilibre à la pression de l'eau environnante. Le tube le plus grand servait aux épaissements. Lorsque la vase était enlevée au moyen de cette espèce de cloche à plongeur et que le rocher sur lequel on s'établissait était dérasé dans le pourtour du cylindre, on maçonnait dans le fond et sur les bords de façon à empêcher la pénétration de l'eau. Cette opération une fois faite, on devait enlever la calotte sphérique et le tube pneumatique, puis travailler presque à sec dans le cylindre, comme dans un batardeau.

Dans le cas où des infiltrations se seraient produites, on pensait que des épaissements ordinaires auraient suffi pour maintenir les eaux; malheureusement la capacité du milieu, une fois la maçonnerie de l'anneau établie, fut loin d'être étanche; les pompes, mues par des machines locomobiles établies sur le cylindre, étaient impuissantes à enlever l'eau qui s'introduisait par les crevasses de la roche sur laquelle on était établi; il fallut recourir, pour la partie centrale de la pile, au même procédé que pour la partie annulaire, c'est-à-dire à l'air comprimé.

Ponts tournants. — Il faut éviter, autant que possible, sur les chemins de fer, les ponts tournants (fig. 158), qui sont une cause



Fig. 158.

d'accident. Toutefois on en rencontre en assez grand nombre sur les chemins de fer belges, et quelques-uns en Angleterre et en France.

Souterrains.

Les souterrains sur les chemins de fer sont nombreux. Les plus remarquables sont le souterrain de la Nerthe, sur le chemin d'Avignon à Marseille, long de 4,600 mètres; celui de Blaisy, sur le chemin de Lyon, mesurant 4,000 mètres; celui du Credo, au chemin de Lyon à Genève, long de 5,900 mètres; celui de Billy, sur l'embranchement de Reims, d'une longueur de 5,500 mètres; celui de Hommarting, sur le chemin de Strasbourg, ayant 2,780 mètres, et enfin celui du Hauenstein, au chemin de fer Central (Suisse), long de 2,500 mètres.

Sur le chemin de Roanne à Tarare, tronçon du chemin de Lyon par le Nivernais, on sera obligé de percer un souterrain plus long encore que celui de la Nerthe : il aura 6,000 mètres de longueur.

Perçement des souterrains. — Les procédés employés pour creuser les souterrains qui livrent passage aux chemins aujourd'hui exploités sont les mêmes que ceux en usage pour le perçement des galeries de mines ou des galeries traversées par les routes ou les canaux. Nous n'avons donc pas à les décrire; mais nous ne pouvons nous dispenser de faire connaître par quels moyens ingénieux on s'efforce aujourd'hui d'ouvrir sous le mont Cenis un souterrain d'environ 15,000 mètres de longueur dans des conditions exceptionnelles. La solution de ce problème est d'un immense intérêt pour la construction des chemins de fer dans les pays de montagnes.

Perçement du mont Cenis. — L'une des extrémités de ce souterrain se trouvant en France (département de Savoie), l'autre extrémité se trouve en Italie à Bardonnèche, à un niveau sensiblement plus élevé. La plus grande hauteur de la montagne ne permettant pas de foncer des puits, comme cela se fait habituellement, pour l'attaquer en un grand nombre de points à la fois, on devait craindre que, le travail ne pouvant se faire qu'en deux points, on ne marchât avec une excessive lenteur. Il fallait aussi trouver un moyen d'envoyer à une grande distance sous terre l'air nécessaire à la respiration des ouvriers, à la combustion des lampes et au remplacement des gaz viciés provenant de l'explosion de la poudre.

M. Mauss, l'habile ingénieur belge dont le nom se rattache à l'exécution du plan incliné de Liège et à celle du chemin de Turin à Gènes, proposait, dans le but de percer le rocher sans faire usage de la poudre, une machine composée de fleurets juxtaposés mus par des comes. Pour transmettre le mouvement aux fleurets, M. Mauss utilisait les cours d'eau de Modane et de Bardonnèche. Des roues, auxquelles ces chutes imprimaient le mouvement de rotation, devaient transmettre leur puissance au moyen de câbles portés sur des poulies. Les mêmes câbles devaient mouvoir des ventilateurs pour aérer la mine. Cette machine n'a pas été employée sans doute à cause de sa complication, et sans doute aussi à cause de la grande perte de force qui résultait de la transmission du travail de la machine au fond de la galerie.

On emploie aujourd'hui un autre procédé tout différent dont voici la description sommaire.

Il consiste à disposer sur un chariot placé au fond du souterrain en voie de percement un certain nombre de fleurets de niveau, d'un nombre bien supérieur à celui dont on pourrait faire usage par les procédés ordinaires. Ces fleurets sont pressés contre la roche par une machine fort simple à piston mis en mouvement par de l'air comprimé. La même machine fait tourner le fleuret constamment sur lui-même. L'air comprimé, après avoir agi sur le piston, se répand dans la galerie et sert à la ventiler. On diminue la quantité viciée par la combustion de la poudre en employant de la poudre de guerre au lieu de poudre de mine.

Une machine hydraulique alimentée par le cours de l'eau de l'extérieur comprime l'air dans un réservoir, qui en fournit la quantité nécessaire à la pompe à air, et supplée au besoin à l'insuffisance de l'air sortant de cette pompe pour l'usage de la galerie.

Le trou de mine, dans des roches de même dureté, se fait avec des perforateurs à air trois fois plus vite qu'avec les perforateurs ordinairement en usage; mais il ne faudrait pas en conclure que l'opération totale, qui comprend en outre la manœuvre du chariot, le chargement de la mine et le déblayement du terrain, a lieu dans un temps trois fois moindre que l'opération avec les perforateurs ordinaires.

L'idée première d'employer la force motrice des chutes d'eau à comprimer de l'air pour transmettre le mouvement aux machines perforatrices et produire la ventilation appartient au savant professeur Daniel Colladon, de Genève. Ce n'est qu'en 1852 qu'il a pris un brevet, en Piémont, pour l'application de cette idée; mais il y a plus de vingt-cinq ans qu'il nous l'a communiquée et qu'il l'émettait dans un cours à l'École centrale des arts et manufactures: en 1826 déjà, il proposait à M. Brunel père, dans un Mémoire dont il nous a donné connaissance, d'employer l'air comprimé dans le percement du tunnel comme moyen de se préserver des irrupsions de la Tamise.

Une des questions les plus importantes à résoudre était celle de savoir quelle serait la résistance de l'air au passage des conduites d'une grande longueur et d'un certain diamètre; la puissance transmise au fond du tunnel et la possibilité de le ventiler jusqu'à une

profondeur de 6000 mètres dépendent de cette résistance. M. Colladon, se basant sur de nombreuses expériences qu'il avait faites en avril 1852, avec une conduite de 0^m,25 de diamètre et de 700 mètres de longueur, annonçait, dans un mémoire joint à sa demande de brevet, que les coefficients de résistance, adoptés jusqu'alors pour le mouvement des gaz dans les conduites nettes à l'intérieur, étaient trop forts et devaient être réduits de moitié, à fort peu près. D'autres expériences, faites par ordre du gouvernement piémontais, ont prouvé depuis lors qu'à la distance de 7,000 mètres (moitié de la longueur entre les compresseurs), pour un tube de 0^m,20 de diamètre avec une vitesse de 1 mètre à l'origine de la conduite et une pression de 4^m,56 de mercure (6 atmosphères), dans le réservoir, la force transmise à cette distance serait encore de 4^m,35 de mercure (5 atmosphères 72). On a constaté aussi que la quantité d'eau fournie par les ruisseaux du voisinage suffirait à la ventilation.

L'appareil perforateur est fort ingénieux. Il a été inventé par trois ingénieurs sardes, MM. Grandis, Grattonne et Sommeiller. Ces ingénieurs avaient, en 1855, établi, avec l'appui du gouvernement piémontais, une machine à comprimer l'air pour refouler les convois du chemin de fer à la montée des Apennins. Ce système n'ayant pas réalisé l'économie qu'on en espérait, on proposa, en 1857, le transport des machines comprimantes à Modane et à Bardonnèche pour entreprendre le percement du tunnel au moyen de l'air comprimé, et elles furent adoptées à la suite d'expériences nouvelles, faites, dans le but d'en étudier l'emploi, par M. Ménébrea, colonel du génie et député aux Chambres piémontaises, dont le nom a figuré glorieusement dans les bulletins de l'armée d'Italie.

Le percement a été commencé par les moyens ordinaires, et au mois de septembre 1861, il était parvenu à 750 mètres de l'extrémité du côté de Modane, et à 950 mètres du côté de Bardonnèche. C'est alors que l'on commença à se servir, du côté de Bardonnèche seulement, des machines à air comprimé. Celles du côté de Modane ne fonctionnent pas encore (décembre 1861).

Dans un mémoire lu à la Société des ingénieurs civils, M. Noblemaire, ingénieur des mines, a décrit l'ensemble des appareils. Pour

reproduire cette description, il faudrait introduire dans le texte du *Traité élémentaire* des dessins qui ne peuvent entrer dans le cadre que nous avons dû nous imposer. Les machines subissent d'ailleurs chaque jour des modifications. Ainsi, du côté de Modane, on se propose d'employer un nouveau compresseur, de l'invention de M. Sommeiller, destiné par sa simplicité à remplacer les anciens dans les applications qui pourraient être faites ultérieurement du système. Nous nous bornerons, par conséquent, à extraire de ce mémoire les données suivantes, au moyen desquelles on se fera une idée des résultats produits et des chances de réussite de ces appareils.

On commence par ouvrir dans la partie inférieure du souterrain, et suivant son axe, une petite galerie préparatoire; les grandes dimensions qu'on lui a données, 4 mètres de largeur sur 5 mètres de hauteur, ne sont pas indispensables : il suffit, pour la largeur, d'avoir, de chaque côté de la voie principale de 1^m,50, 0^m,75 pour poser de petites voies servant à l'enlèvement des déblais et pour surveiller la marche des machines; on pourrait donc la réduire à 3 mètres, mais pas au-dessous, surtout s'il faut boiser. Quant à la hauteur, elle pourrait facilement être réduite à 2^m,50 et à la largeur à 2 mètres.

On paraît disposé, au mont Cenis, à se rapprocher de ces limites; on y gagnera certainement en rapidité d'avancement; mais, si l'on tient compte de la difficulté très-grande que présentera plus tard, dans l'élargissement du souterrain, non l'installation des chantiers d'attaque, mais l'organisation d'un système suffisamment rapide d'enlèvement des déblais quand on sera à trois ou quatre kilomètres dans l'intérieur de la montagne, l'avantage de la diminution de section de la petite galerie ne paraît plus aussi évident.

Installation des perceurs. — Sur la voie centrale peut circuler un chariot assez massif en fer pesant quinze tonnes, auquel on a donné le nom d'*affût*, parce que c'est sur lui que s'installent, de la manière suivante, les huit perceurs (fig. 159).

Pour percer les trous sur les parois de la galerie, il est nécessaire de placer des machines extérieurement à l'affût. On les fait alors supporter par des tirants extérieurs qui ne sont maintenus entre les

montants que par leur épaulement et le fort serrage d'un boulon.

Le peu de poids des machines rend cet encoorbellement moins nuisible qu'on ne pourrait le croire au premier abord.

L'affût porte, en outre, deux petits réservoirs, dont l'un reçoit l'air comprimé venant de l'extrémité de la conduite, et l'autre, l'eau pour le nettoyage des trous.

Cette eau est enfermée dans des réservoirs en forme de chaudières, portés sur un autre chariot (tender) attelé à l'affût; il y reçoit, au moyen d'un tuyau branché sur la conduite générale, la pression de 5 atmosphères.

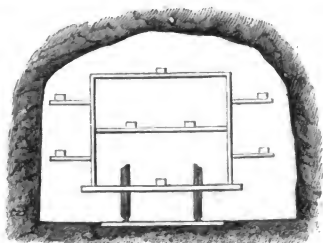


Fig. 159.

Chacun de ces réservoirs porte cinq doubles robinets,

de manière à distribuer à dix machines l'air et l'eau qui leur sont nécessaires.

Sauf la conduite générale en fonte, tous les tuyaux de conduite d'air ou d'eau sont en caoutchouc recouvert d'une forte toile; leur diamètre est de 0^m,05, et leur épaisseur de 0^m,005; ils font un excellent service.

Attaque de la roche. — Les machines une fois installées sur l'affût, celui-ci est poussé assez facilement, malgré son poids, contre le front de taille. On donne l'air et le travail commence.

La disposition aujourd'hui adoptée est la suivante : deux machines, fonctionnant à peu près au centre de la galerie, y pratiquent une ligne horizontale (fig. 160 et 161), de douze trous, se composant de huit petits trous de 0^m,05 de diamètre, et quatre gros de 0^m,09.



Fig. 160.

Les petits seuls reçoivent de la poudre; les gros restent tels quels : ils ne font que pratiquer dans la roche un vide initial qui facilite l'action horizontale des premières mines. Par suite de cette disposi-

tion, leur explosion produit une cavité centrale de 0^m,90 de profondeur, de 1 mètre à 1^m,50 de large, et d'une hauteur allant parfois à 0^m,50 et 0^m,60, et moyennement à 0^m,50.

Quatre autres machines extérieures à l'affût percent en même temps chacune 9 à 10 trous de 0^m,04 de diamètre disposés suivant les lignes *a* et *a'*, *b* et *b'*.

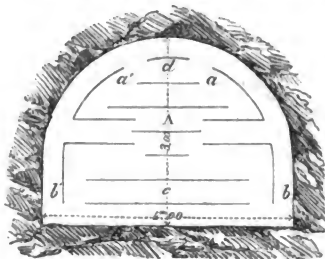


Fig. 161.

Le septième percuteur pratique l'ensemble *c* des 8 et 9 mines inférieures disposées sur trois lignes, et le huitième l'ensemble *d* des neuf trous supérieurs.

On a donc ainsi, en six heures de travail, criblé la roche de 65 à 70 trous de 0^m,90 de profondeur.

Tirage des mines. — L'affût est alors retiré en arrière pour être à l'abri des projections, et l'on charge les mines de cartouches de 0^m,50 environ de longueur ; la rangée *A* est d'abord tirée seule, et, après le déblai du vide produit par l'explosion, les mines des rangées *a a'*, *b b'*, sont chargées avec des mèches d'autant plus longues qu'elles sont plus éloignées du vide central. Enfin le groupe *d* est tiré dans les mêmes conditions ; quant au groupe *c*, il ne l'est qu'après l'enlèvement total des débris.

Le succès de cette méthode est complet : la roche est broyée sur 0^m,90 de profondeur, en morceaux qui ne dépassent point trois à quatre décimètres cubes, très-faciles à charger dans des wagonnets.

Quatre heures sont nécessaires pour le tirage des mines et l'enlèvement des déblais ; on peut donc compter aujourd'hui sur un avancement de 0^m,90 en dix heures, et, dans quelques jours, quand le travail sera continu avec deux postes de douze heures, on peut être certain, en poussant les trous à 1 mètre, d'un avancement de 2 mètres qui sera facilement dépassé. Je ne crois rien exagérer en disant que dans quelques mois, quand le personnel sera mieux formé encore, les machines rendues plus puissantes, l'enlèvement des dé-

blais mieux organisé, on pourra atteindre un avancement normal de 2^m,50 à 5 mètres.

On peut facilement apprécier la valeur de ces résultats. Sur les 750 mètres percés du côté de Bardonnèche, 700 mètres ont été faits à la main, en travaillant sur toute la section du tunnel avec trois postes de huit heures.

L'avancement moyen a été de 0^m,90 en 24 heures dans une roche qui n'a de mauvais que son hétérogénéité; c'est un calcaire noir assez régulièrement stratifié de l'est à l'ouest, avec une inclinaison de 15° vers le nord, parfois compacte, parfois schisteux à la façon des ardoises; tantôt pur, et traversé seulement par des veines de calcaire blanc, souvent très-imprégné de quartz, surtout vers l'avancement.

D'après ces résultats je ne pense pas qu'on puisse évaluer à plus de 0^m,70 l'avancement en petite galerie. Le système de perforation mécanique marche donc trois fois plus vite que le système ordinaire; il ira sans doute bientôt plus rapidement encore.

Les machines établies à l'intérieur du souterrain pour comprimer l'air que l'on envoie dans le fond *par les conduites* pour alimenter les *perceurs* et remplacer l'air vicié portent le nom de *compresseurs*.

Pour tenir compte des pertes de toute espèce, il faut évaluer les dépenses de ces compresseurs, dans l'état actuel des choses, à 0^m,080 d'eau par seconde; cette dépense avec une chute de 26 mètres représente une dépense de travail de 27,72 chevaux et un rendement de 56 p. 100.

Pour évaluer la force motrice qu'on doit avoir à sa disposition, il faut connaître la quantité totale d'air nécessaire, soit aux machines, soit à l'aérage.

1° *Machines*. Une machine dépense environ 0^m3,180 d'air comprimé par minute, elle marche 14 à 15 heures sur 24; cela représente donc pour les huit machines une dépense totale, par 24 heures, de 1250^m3 d'air comprimé ou 6250^m3 d'air libre.

2° *Aérage*. Il faut pour un homme et sa lampe 6^m5 par heure, qui représentent, pour 15 hommes, une dépense d'air de 2160^m3 par 24 heures.

L'explosion de la poudre produit des gaz irrespirables qu'il est nécessaire de noyer dans une grande quantité d'air. 20 kilog. de poudre seront à peu près brûlés en 24 heures; il faudra pour les diluer au plus 4000^{m³} d'air libre.

On voit donc que l'échappement des machines peut fournir et a fourni en effet jusqu'ici, pour 800 mètres de galerie, tout l'air nécessaire à l'aéragé.

Il en sera autrement quand la galerie sera plus longue : le tirage des mines se faisant pendant que les machines ne fonctionnent pas, il faudra, sans doute, injecter de l'air. Pour les petits souterrains, il n'y aurait pas, à coup sûr, à s'en préoccuper.

En somme, on n'aurait donc besoin que de comprimer par 24 heures 6250^{m³} de 1 à 6 atmosphères. En tenant compte des pertes diverses, des injections d'air nécessaires pendant le tirage des mines, il me paraît indispensable de comprimer par 24 heures 8000^{m³} d'air libre, soit 0^m,092 par seconde; ce qui demande une force théorique de 25 chevaux.

La conduite d'air comprimé est formée de tuyaux en fonte de 0^m,20 de diamètre intérieur et de 0^m,01 d'épaisseur; ils s'assemblent au moyen d'érous serrant fortement, dans une gorge tournée sur l'extrémité de chaque tuyau, une cordelette de caoutchouc de 0^m,01 de diamètre.

Il n'est pas facile, avec les moyens actuels, de connaître ni l'étanchéité de cette conduite, ni la perte de charge de l'air dans cette longueur de 1600^m. On ne dispose à Bardonnèche que de manomètres Desbordes, complètement insuffisants pour des mesures de ce genre. Cependant on a remarqué que, la conduite restant fermée, la pression y baisse en 12 heures de 5 atmosphères à 4^{atm},8.

Quant à la perte de charge, les manomètres indiquant 5 atm. sur les réservoirs, celui placé à l'extrémité de la conduite accuse 4^{atm},0.

Les frais d'établissement du système se calculent de la manière suivante.

Les dépenses se classent en deux catégories : machines et bâtiments; un compresseur coûte, d'après les renseignements que

l'on m'a donné, 120,000 fr., rendu à Bardonnèche et mis en place; j'admettrai ce prix, quoiqu'il me paraisse bien élevé; il constitue pour dix compresseurs, une dépense de. . . 1,200,000 fr.

Conduite d'air, double conduite de six kilomètres, soit 12,000 mètres de tuyaux; cela représente, pose comprise, à 20 fr. le mètre. . . . 240,000

Les transports ne coûtent pas moins de 80 fr. par tonne, par 720 tonnes, ci. 57,000

Perforateurs, 50 machines à 2,000 fr. l'une. 100,000

Affût, tender, robinetterie, tuyaux de caoutchouc, etc. 50,000

Soit, pour l'ensemble des machines. 1,627,000 fr.

Pour les constructions (je ne parle que de celles nécessitées par le nouveau système de forage employé), on peut en estimer ainsi la valeur.

Canal, 5 kilomètres avec réservoir et bassin d'épuration. 50,000 fr.

Bâtiments des compresseurs et ateliers. 50,000

Machines-outils, forges, etc., y compris le transport. 15,000

TOTAL GÉNÉRAL. 1,740,000 fr.

Il faut un travail de l'importance du percement du mont Cenis pour qu'on puisse se permettre un luxe semblable. Remarquons au reste que les dépenses de premier établissement, dont les compresseurs forment la part principale, auraient été très-notablement réduites par l'emploi de ceux que l'on vient d'installer à Modane.

Achèvement du souterrain. Les ingénieurs italiens ne semblent pas décidés à appliquer à l'élargissement du souterrain le système mécanique, qui s'y prêterait fort bien, sans grande modification des dispositions actuelles, au moins pour l'enlèvement de la zone inférieure de 5 mètres de hauteur sur 7^m,60 de large. La question est délicate, en effet, et mérite d'être étudiée de près.

Le but qu'il faut atteindre est de faire marcher, par l'emploi des machines ou par les moyens ordinaires, l'élargissement du souter-

rain de front avec la galerie préparatoire, de manière que les deux travaux s'achèvent à peu près en même temps.

On peut y arriver par les deux méthodes : par les moyens mécaniques, c'est évident *à priori*; par les moyens ordinaires, une fois la galerie préparatoire suffisamment avancée, on pourra ouvrir en arrière un nombre pour ainsi dire infini de chantiers, et, avec un nombre suffisant d'ouvriers, pousser les travaux d'élargissement aussi vite que l'on voudra. C'est donc la seule question de prix de revient qui doit décider du choix à faire entre les deux systèmes.

Choix du système à employer. — L'évaluation du prix de revient du mètre d'avancement, dans le nouveau système, me semble, pour le moment, tout à fait impossible; mais la question devient plus abordable si on la restreint au seul élargissement du souterrain, travail dont il faut d'abord estimer l'importance.

Le volume total des déblais à enlever, en supposant qu'on augmente de 0^m,50 de chaque côté, pour faire le muraillement, la dimension type de la galerie, est de 48^{ms} par mètre courant, soit 240,000^{ms} pour les 5,000 mètres qui restent à faire : le volume de la petite galerie est de 60,000^{ms}, il reste donc à enlever, pour achever le souterrain, 180,000^{ms}, ou, en moyenne, 30,000^{ms} par an, si l'on admet que le percement de la galerie préparatoire sera achevé en six ans.

Ceci posé, dans la comparaison des deux méthodes (au point de vue exclusif de l'abatage), il n'y a pas à tenir compte, pour le nouveau système, des frais d'installation, que l'on imputera exclusivement au percement de la galerie préparatoire. Les seules dépenses à considérer seront donc :

Pour le nouveau système :		achat de machines;
—	—	entretien des machines;
—	—	main-d'œuvre;
—	—	entretien de l'outillage.
Pour le système ordinaire :		main-d'œuvre;
—	—	entretien de l'outillage.

En évaluant ces dépenses d'après les données fournies par l'expérience, M. Noblemaire trouve pour la dépense d'achèvement du souterrain : dans le système des machines, 1,179,000 fr., et, dans

le système ordinaire, 1,590,000 fr. : l'avantage resterait donc, d'après cet ingénieur, au système des machines.

Quel que soit, au surplus, le système adopté, on va se trouver aux prises avec une difficulté qui domine aujourd'hui toutes les autres, celle de l'enlèvement des déblais. Dans les souterrains ordinaires, les puits ne servent pas seulement à augmenter le nombre des attaques, mais encore et surtout, à sortir les déblais. Or, si l'on se reporte aux difficultés toujours grandes de transporter les déblais des chantiers au fond du puits, au milieu des échafaudages disposés pour les maçonneries, des pierres et matériaux en approvisionnement, etc., on se fera une idée des difficultés immenses que l'on éprouvera à sortir, au milieu des mêmes embarras, par une seule tête, 100 mètres cubes de déblais par jour, surtout quand on sera à une grande profondeur.

Cette question s'est déjà présentée sur une petite échelle, et n'a pas été résolue d'une manière satisfaisante dans le percement de la petite galerie. Après sept heures de fonctionnement des perceurs, on est privé de leur service pendant cinq heures, consacrées : deux au tirage des mines (c'est une perte de temps qu'il faut nécessairement subir), et trois à l'enlèvement des déblais. C'est une perte de trois heures sur douze, qu'on n'a en ce moment aucun moyen d'éviter. Il semble cependant qu'on pourrait le faire, soit en combinant l'enlèvement des déblais avec la marche des machines, soit en amenant auprès du front de taille une sorte de caisse basse et large qui recevrait la plus grande partie des déblais, projetés, en général, à une très-faible distance, et dont l'enlèvement se ferait alors avec une grande rapidité.

Quoi qu'il en soit, il est de la plus urgente nécessité, si l'on veut tirer de la machine nouvelle tout le parti possible, de la compléter par un système également nouveau et d'une rapidité correspondante pour l'enlèvement des déblais. La méthode actuelle est déjà mauvaise pour la petite galerie; elle conduira, quand il s'agira de l'élargissement, à des complications inextricables dans l'organisation du système des transports.

Un fait qui nous est signalé par un savant professeur de géologie qui vient de visiter le souterrain du mont Genis, et qui n'est pas

sans quelque importance, c'est la grande chaleur qu'éprouvent déjà les ouvriers au fond d'une galerie qui n'a pas encore pénétré à une grande profondeur sous terre. L'extrémité du souterrain en voie d'exécution se trouvant au-dessous du point culminant de la montagne, cette chaleur deviendra encore plus intense et très-gênante pour les ouvriers, si on ne trouve pas un moyen de ventilation plus énergique que celui en usage. Il est d'ailleurs nécessaire d'améliorer dès à présent le système de ventilation, qui ne débarrasse qu'imparfaitement la galerie des gaz viciés.

CONSTRUCTION DE LA CHAUSSÉE.

Après avoir, au moyen des travaux de terrassement et des travaux d'art, adouci convenablement la pente du terrain sur la ligne que doit suivre le chemin de fer, il convient de ne pas poser encore la voie au fond des tranchées ou sur la crête des remblais et même sur les ponts en maçonnerie. Le sol généralement terreux des tranchées ou des remblais, se convertissant en une boue épaisse, cesserait d'offrir une base suffisamment solide, et la voie ne tarderait pas à se déranger de telle façon, qu'il deviendrait impossible de la parcourir à grande vitesse.

La maçonnerie étant, au contraire, trop rigide, le passage des ponts deviendrait fatigant en même temps pour le voyageur et pour le matériel si elle se trouvait en contact immédiat avec la voie.

Il est donc absolument nécessaire d'interposer entre le terrain naturel ou les assises de maçonnerie et la voie en fer une chaussée artificielle, perméable à l'eau, qui soit moins susceptible que le sol naturel de se déformer et moins rigide que la maçonnerie.

On appelle *ballast* la matière dont se compose cette chaussée; le sable est le ballast le plus généralement employé.

Dans les tranchées, la chaussée est toujours bordée des deux côtés par des fossés dans lesquels se réunissent les eaux qui coulent le long des talus et celles qui proviennent de la chaussée elle-même.

Il est essentiel que la chaussée qui porte la voie en fer soit tou

jours aussi sèche que possible. Il ne faut donc négliger aucun moyen de donner écoulement aux eaux qui pourraient la détruire.

La capacité des fossés doit être proportionnée à la plus grande quantité d'eau que peuvent y amener les pluies les plus abondantes, et leur profondeur doit être au moins aussi grande que l'épaisseur de la chaussée.

Les longues tranchées sont souvent difficiles à dégorger, surtout si la voie y est posée en palier; sur le chemin de Versailles (rive gauche), on vide les fossés de la grande tranchée de Clamart au moyen de *puits absorbants* creusés de 500 mètres en 500 mètres. Ces puits doivent atteindre une couche *absorbante*, c'est-à-dire une couche qui retienne toutes les eaux qu'on y jette. Ce n'est que dans un petit nombre de terrains, d'une composition analogue à celle des terrains des environs de Paris, que l'on trouve de pareilles couches.

Avant d'établir la chaussée au fond des tranchées, on donne au sol une légère inclinaison partant de l'axe du chemin vers l'emplacement des fossés; sur les remblais, dont le tassement est toujours plus fort vers les bords que sur l'axe, cette opération n'est pas nécessaire.

Le sol étant ainsi préparé, on étend une première couche de ballast sur une épaisseur de 25 à 50 centimètres; on la pilonne avec des espèces de dames de paveur. Le transport de ce ballast se fait en général dans des wagons de terrassement versant de côté, et trainés par des chevaux sur une voie de fer provisoire posée *directement* sur le sol à l'emplacement de l'une des voies définitives. Cette première couche de ballast servant de fondation à l'une des voies définitives, la pose peut en être immédiatement commencée.

Cette voie définitive est employée au transport ultérieur du ballast, et l'on peut activer ce transport qui se fait dans des wagons d'ensablement au moyen de machines locomotives.

Que l'on se serve de dés, de traverses ou de longuerines comme moyen de fondation pour la voie de fer, il est très-important que ces supports reposent par une large base sur la couche de sable et la touchent par tous leurs points. Nous nous écarterions de notre

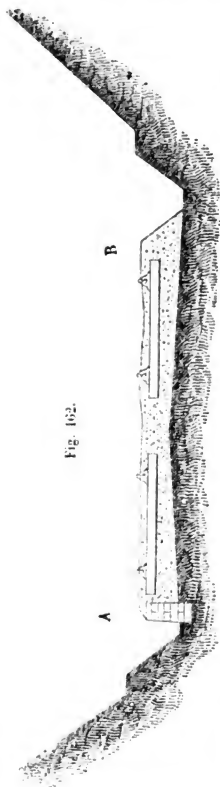
but si, dans cet ouvrage élémentaire, nous entrons dans les détails des précautions à prendre pour remplir cette condition. On les trouvera, si on désire se livrer à une étude approfondie du sujet, dans le *Portefeuille de l'ingénieur*.

Les supports de la voie placés et bien assis sur leur base, on remplit encore avec du sable bien pilonné l'espace qu'ils laissent entre eux, de manière à les envelopper parfaitement, précaution nécessaire pour les maintenir dans leur position et pour préserver les bois de la pourriture. La chaussée est alors complète. *Un bon ensablement de la voie est une condition de durée pour le chemin et de sécurité pour les voyageurs.*

Sur une voie mal ou médiocrement ensablée, non-seulement les traverses se détruisent rapidement ou se déplacent facilement, mais on est exposé aux plus graves accidents lorsque les machines sortent de la voie.

Dans les tranchées, le ballast est quelquefois soutenu le long des fossés par de petits murs en *pierres sèches* (fig. 162), c'est-à-dire par des murs en pierres simplement juxtaposées sans interposition de mortier et perméables à l'eau. Cette disposition permet de réduire la longueur de la tranchée et le cube des terrassements. D'autres fois, c'est le talus naturel de la couche de sable elle-même qui borde le fossé.

En Suisse, en Bavière (chemin du Palatinat) et dans le duché de Bade, le chemin n'est pas composé exclusivement de ballast. Des massifs en terre ont été ménagés, comme l'indique la figure 165,



le long des fossés (chemin Suisse) et même au milieu (chemins Bava-
rois et Badois (fig. 164), afin d'économiser le ballast. Ces massifs
sont traversés de distance en distance par des saignées servant à
assainir les cuvettes.

On avait adopté une disposition semblable sur les premiers che-
mins de fer construits en France, mais l'on n'a pas tardé à recon-
naître qu'en introduisant les pinces sous les traverses pour les re-
lever, on attaquait souvent les massifs et provoquait ainsi le mélange
de la terre et du ballast. L'entretien des saignées est d'ailleurs fort
coûteux, et elles sont sujettes à s'engorger.

Sur le remblai, les fossés sont supprimés, et les talus de la
couche de sable font suite à ceux du remblai; l'eau s'écoule de
part et d'autre ou pénètre dans l'intérieur. Mais les grands rem-
blais tassant toujours plus ou moins, on conserve, lors de la
construction, deux petites banquettes sur la crête du remblai. A
mesure que le tassement a lieu, on relève la voie en rapportant
de nouvelles épaisseurs de ballast sous les supports; et, comme
la crête de ce ballast doit conserver toujours la même largeur, sa
base s'étend et ses talus finissent par se raccorder avec ceux du
remblai.

Sur des terrains très-mous, délayés par des courants d'eau, ou
sur des terrains marécageux, il serait impossible, sans de certaines
précautions, d'établir une voie durable.

Sur le chemin de Wissembourg, la chaussée reposant en tran-
chée sur un terrain argileux, on a desséché la plate-forme en creu-
sant sous la chaussée, comme l'indique la figure 165, des rigoles
de 15 à 20 centimètres de profondeur que l'on remplit de gravier
d'abord sur 12 à 15 centimètres de profondeur, puis de mousse.
Le fond de ces rigoles longitudinales est incliné vers des rigoles
transversales traversant la plate-forme d'un fossé à l'autre, de telle
façon que les eaux sont inévitablement conduites par ces rigoles
dans les fossés.

Dans une autre tranchée où la plate-forme était établie sur un
terrain compacte, argileux, on a creusé des rigoles longitudinales
d'une faible profondeur au bord de la chaussée (fig. 166). On a posé
au fond de ces rigoles des tuyaux de drainage que l'on a recou-

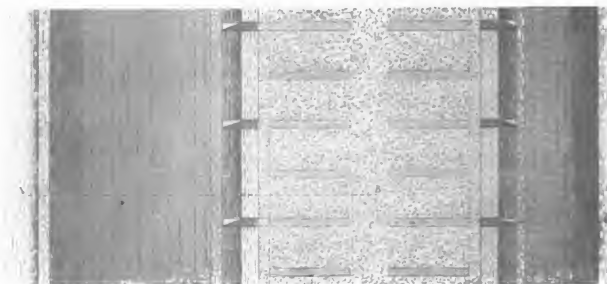


Fig. 163.

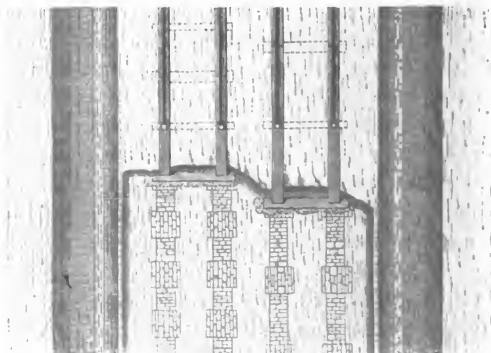


Fig. 164.

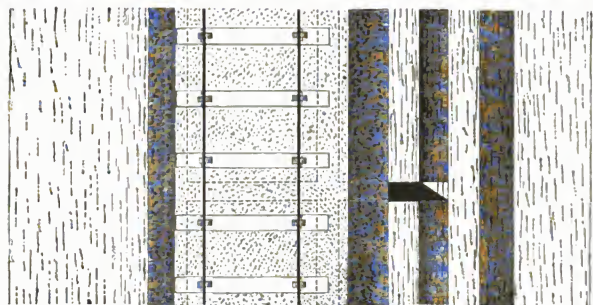


Fig. 165

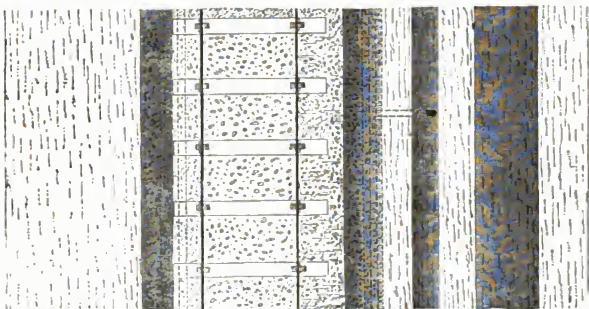
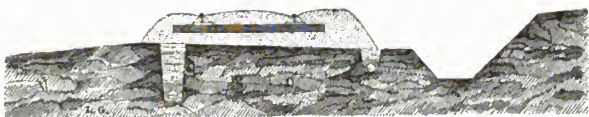


Fig. 166.

verts de pierrailles, puis, de distance en distance, on a dégorgé ces tuyaux dans des tuyaux transversaux.

Le terrain étant humide sur une grande épaisseur, on a donné à la rigole une profondeur de 80 centimètres, en sorte qu'elle descendait au-dessous du fossé. On a posé au fond des tuyaux de drainage inclinés vers les extrémités, on les a recouverts de paille d'abord, puis d'un mélange de ballast et de glaise, et on a dégorgé les tuyaux par leurs extrémités ou latéralement.

Dans ce dernier cas, le dégorgement, devenant difficile et ne pouvant s'effectuer souvent qu'à d'assez grandes distances, devenait très-dispendieux.

Sur les remblais argileux du chemin de Wissembourg, on a, pour dessécher la plate-forme, creusé des rigoles transversales de 4 à 2 mètres de profondeur que l'on a espacées de 3 à 12 mètres, suivant que le remblai était plus ou moins aquifère

On plaçait au fond de ces saignées deux petites fascines remplies de gravier à côté l'une de l'autre, une troisième fascine au-dessus, puis on recouvrait le tout de terre.

Au chemin de Versailles (rive gauche), comme le terrain, au fond d'une tranchée, était tellement mou, qu'il ne pouvait porter les objets même les plus légers, on a, pour établir la chaussée, commencé par enfoncer des files parallèles de planches jointives (palplanches) des deux côtés de l'emplacement de chacun des fossés. On a vidé les terres jusqu'à une certaine profondeur entre les planches qui soutenaient les parois de la fouille, et on a construit dans cette excavation des murs en pierre sèche. Il s'est trouvé alors entre les fossés une couche de terre dont l'épaisseur était égale à leur profondeur, desséchée par le fait seul de leur creusement. On a extrait cette couche sur la plus grande partie de son épaisseur, on a étendu au fond de cette excavation une couche de pierres d'un certain volume, faisant autant que possible corps les unes avec les autres; et enfin, sur cette couche, on a construit la chaussée et posé la voie.

Les terrains marécageux sont, ou de faible profondeur et faciles alors à dessécher, ou de grande profondeur, et tels qu'on ne puisse en détourner aisément les eaux.

Si le terrain est facile à dessécher, on retombe dans l'un des cas précédents.

S'il a peu de profondeur et que l'on ne juge pas facile ou convenable de le dessécher, on enfonce des pilotis dans le terrain solide sur lequel pose le terrain marécageux; on réunit les têtes de ces pilotis par des *longuerines*; on pose des *traversines*, et sur ces traversines un nouveau cours de longuerines qui porte les rails. C'est ainsi que l'on a établi le chemin dans certains marais de la Caroline du Sud, aux États-Unis, et à Pontypool, dans le pays de Galles. On peut encore, dans ce cas, combler avec des déblais solides la partie du marais qu'on veut traverser.

Le marais est-il profond, comme celui de Chatmoss, sur le chemin de Liverpool à Manchester, il faut recourir à un autre expédient. On établit alors la chaussée sur un lit de fascines d'une grande largeur; de cette manière, on divise sur une très-grande surface le poids de la chaussée et celui des convois qui la parcourent, et le chemin flotte, pour ainsi dire, sur le marais comme un radeau sur une rivière.

Les paragraphes suivants sont extraits des instructions données, le 8 novembre 1856, par le ministre du commerce et des travaux publics de Bavière pour la construction et l'entretien des chemins de fer de l'État, instruction dont la traduction a été publiée dans le journal *l'Ingénieur* par M. Muntz¹.

« Une couche de ballast de 0^m,60 s'est montrée insuffisante pour les tranchées humides et à fonds imperméables, et il convient de les porter à 0^m,88 en contre-bas de la surface supérieure des traverses. Sur les remblais imperméables elle devait être de 0^m,75. Cette épaisseur peut être diminuée au fur et à mesure que la perméabilité du fond augmente, toutefois, elle ne doit pas être inférieure à 0^m,60 dans les tranchées, et à 0^m,45 sur les remblais.

« Une couche de 0^m,45 a été reconnue insuffisante dans une station dont le sol n'a pu être asséché que d'une manière imparfaite.

¹ Nous croyons utile de rappeler que ces instructions sont le fruit d'une longue expérience, puisque c'est en Bavière qu'ont été construits, par M. Denis, les premiers chemins de fer à locomotives.

« Une largeur de couche de ballast dépassant de 0^m,15 la surface extérieure des dés en pierre a été reconnue suffisante; tandis que, pour une voie posée sur traverses, la largeur de la couche de ballast doit dépasser de 0^m,50 les abouts de celles-ci.

« L'assèchement prompt et complet du ballast est de la plus haute importance; on l'obtient de la manière la plus parfaite en étendant la couche de ballast sur toute la longueur de la plate-forme. Un moyen également bon, mais bien moins efficace, consiste dans l'établissement de pierrées au travers de la plate-forme de la voie. Ces pierrées sont distantes de 3 à 4^m,50; elles ont 0^m,60 de largeur, et leur fond à pente rapide s'étend jusque sur le talus. Il convient d'établir de ces pierrées partout où elles n'existent pas en dimensions et en nombre suffisants.

« Quand le fond est humide ou rempli de sources, on fait bien de recourir aux tuyaux de drainage. On les place sur un fond en argile damé dans l'axe des voies, et à 0^m,90 en contre-bas de la plate-forme, en ayant soin de la couvrir d'une couche d'environ 0^m,60 de cendres de coke ou d'autres matières perméables avant de poser le ballast. Du drain principal on fait passer dans les fossés du chemin des drains secondaires, qu'on multiplie suivant le degré d'humidité du fond. Une plate-forme ondulée dans le sens de la longueur contribue beaucoup à l'écoulement des eaux de la surface, et, pour cette raison, on prolonge la cavité sous les traverses jusqu'à la rencontre des talus. »

La solidité de la chaussée d'un chemin de fer, et, par suite, celle du chemin de fer lui-même, ne dépend pas seulement du plus ou du moins de soin apporté dans sa construction. Le choix des matériaux qui la composent exerce également la plus grande influence sur sa résistance et sa durée.

Nous indiquerons plus loin les conditions que doivent remplir ces matériaux.

TABLE ANALYTIQUE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE PREMIER VOLUME

PRÉFACE.....	IX
PLAN DE L'OUVRAGE.....	IX
INTRODUCTION.....	XI

CHAPITRE PREMIER. — COMPARAISON DES VOIES DE COMMUNICATION.

Routes. — Perpendiculaires aux chemins de fer.....	2
Parallèles aux chemins de fer.....	2
Préférables aux chemins de fer dans les pays de montagnes.....	5
Préférables aux chemins de fer dans les contrées où la circulation n'est pas très-active.....	5
Quotités de marchandises ou de voyageurs transportés annuellement pour établir avantageusement un chemin de fer.....	5
Comparaison des parcours kilométriques sur les chemins de fer et sur les routes ordinaires.....	4
Canaux. — Leur raison d'être à cause de leur extrême bon marché.....	4
Pays où les canaux sont impraticables.....	4
Impraticables dans certains pays accidentés où les chemins de fer sont avantageux.....	4
Quantité d'eau nécessaire pour élever une certaine charge à une certaine hauteur.....	4
Opinion de M. Huerne de Pommeuse.....	5
Activité procurée aux bassins houillers par l'établissement des chemins de fer.....	6
Tonnage sur le chemin de Saint-Etienne à Lyon, de Durlington à Stockton, de Alais à Beaucaire, des usines de la Grand'Combe.....	6
Canaux et chemins de fer sur un sol médiocrement accidenté.....	7
Bateaux à vapeur porteurs, remorqueurs, toueurs.....	7
Frais d'entretien des canaux.....	7
Frais de transport sur les canaux et sur les chemins de fer.....	8

Comparaison des frais de transport sur un canal ou sur un chemin de fer.	11
Opinion du rapporteur sur l'établissement du canal de la Sarre.	12
Opinion des membres d'une commission du Parlement anglais sur les associations projetées de plusieurs compagnies de canaux et de chemins de fer.	15
Avantages de la régularité et de la rapidité des transports sur les chemins de fer.	14
Résistance opposée par le liquide au mouvement des bateaux.	14
Chemins de fer et canaux en Angleterre.	15
Opinion de M. Teisserenc sur les canaux.	16
Chemins de fer et canaux en France.	17
Situation du canal de Rive-de-Gier à Givors.	17
Lutte entre les canaux et les chemins de fer.	18
Tableau comparatif du mouvement des marchandises sur les voies navigables et sur les chemins de fer en 1850, 1853, 1855, 1856, 1857 et 1858.	22
Conséquences tirées de ce tableau.	25
Chemins de fer et canaux en Belgique.	25
Chemins de fer et canaux aux États-Unis.	24
Opinion de M. Stucklé sur le canal de Schuy-Kill.	25
Renseignements fournis par M. l'ingénieur Robinson à M. Michel Chevalier sur les canaux et les chemins de fer en Amérique.	25
Conclusion tendant à démontrer que dans l'état actuel de l'industrie on ne saurait construire avantageusement des canaux pour faire concurrence aux chemins de fer.	26
Services divers rendus par les canaux à l'industrie, à l'agriculture, aux pays comme moyen de défense.	27
Rivières. — Concurrence économique qu'elles peuvent faire aux chemins de fer.	28
Ballage et touage.	28
Avantages des chemins de fer comme voies stratégiques.	50
Opinions de Napoléon et de M. le comte Daru.	50
Chemins de fer en Crimée.	51

CHAPITRE II. — HISTOIRE ET STATISTIQUE DES CHEMINS DE FER.

Europe.	53
Angleterre.	54
Belgique.	37
Hollande.	59
Luxembourg hollandais.	42
France.	42
Tableaux indiquant les périodes de concession et de construction des chemins de fer français de 1825 à 1858.	49
Allemagne.	49
Italie.	54
Piémont, Savoie, Lombardie et duchés annexés.	54
États romains et napolitains.	56
Suisse.	57
Espagne.	59
Portugal.	65

Russie et Pologne russe.	65
Suède.	67
Norvège.	70
Danemark.	71
Turquie.	72
Grèce.	75
Amérique septentrionale.	74
États-Unis.	74
Canada.	78
Mexique.	78
Honduras.	79
Costa-Rica.	79
Ile de Cuba.	79
Amérique méridionale.	79
Nouvelle-Grenade.	80
Guyanne anglaise.	80
Bésil.	80
Paraguay.	82
Pérou.	82
Chili.	85
État de Buenos-Ayres.	84
Afrique.	84
Algérie.	84
Égypte.	85
Cap de Bonne-Espérance.	86
Asie.	86
Asie Mineure.	86
Perse.	87
Indes.	87
Océanie.	90
Australie.	90
Longueur des chemins de fer établis, comparée à la surface des principaux pays.	91
Tableau des chemins de fer du globe à la fin de 1857, indiquant les parties du monde et les États où ces chemins sont établis; la superficie en myriamètres carrés, la population par myriamètres carrés, la longueur totale des chemins exploités et concédés, la longueur par myriamètre carré des chemins exploités et concédés, la longueur par million d'habitants des chemins exploités et concédés, le capital engagé dans les chemins de fer exploités et concédés.	92
Tableau à la fin de 1860, indiquant pour certaines parties de l'Europe la longueur totale, la longueur par myriamètre carré, et la longueur par million d'habitants des chemins exploités et concédés.	96

CHAPITRE III. — NOTIONS GÉNÉRALES SUR LA DISPOSITION DES VOIES DE FER, SUR LES MOTEURS QUI Y SONT EMPLOYÉS, ET SUR LES AVANTAGES DES CHEMINS DE FER AU POINT DE VUE TECHNIQUE.

Disposition des voies.	97
Origine des chemins de fer.	97
Chemins à bandes saillantes.	98
Chemins à bandes plates.	98
Préférence accordée aux chemins à bandes saillantes.	98
Chemins à double ou à simple voie.	99
Chemin à la Palmer.	100
Gares de stationnement, ou stations.	101
Gares d'évitement.	102
Gares extrêmes et intermédiaires.	102
Classement des gares intermédiaires.	102
Gares de voyageurs, de marchandises et mixtes.	102
Moteurs employés sur les chemins de fer.	102
Avantages des chemins de fer au point de vue technique.	104
Le principal avantage des chemins de fer consiste dans l'emploi de la machine locomotive.	104
Sur les chemins de fer la résistance est moins grande que sur les routes ordinaires.	105
Les locomotives n'offrent de véritables avantages que sur de faibles pentes et sur des chemins en ligne droite ou à peu près.	105
Résistance sur les chemins de fer : frottement de roulement.	105
Comparaison de la charge traînée avec un moteur donné sur un chemin de fer de niveau et sur une route ordinaire à une vitesse modérée.	106
Résistance que présente l'air quand la vitesse augmente.	106
Frottement au pourtour des roues comparé à la résistance totale.	107
Force centrifuge.	108
Frottement occasionné par le système de parallélisme des essieux de wagons et par la fixeté des roues sur les essieux.	108
Les chemins de fer sont véritablement avantageux : 1° quand ils ont de faibles rampes et de très-grands rayons ; 2° lorsque le terrain étant sensiblement incliné, les convois descendent avec de fortes charges et remontent à vide ou faiblement chargés.	109
Dans les pays très-accidentés, sur les rampes et les courbes de petits rayons, le chemin de fer perd ses avantages et devient presque impraticable.	110

CHAPITRE IV. — DU TRACÉ DES CHEMINS DE FER.

Considérations générales et principes qui président à l'étude des tracés.	111
Influence du chemin de fer sur l'avenir de l'industrie.	111
Idées qui ont présidé à l'étude des premiers tracés.	111
Calcul du rapport des produits au capital engagé.	112
Tracés directs.	115
Rapport du parcours partiel au parcours total.	115

Influence de la longueur du parcours sur le choix des places et sur la taxe moyenne.	115
Parcours moyen d'un voyageur sur les chemins allemands, belges, anglais, du Nord, de l'Est, de Lyon, d'Orléans, autrichien, et du Midi.	116
Parcours kilométrique d'un voyageur et d'une tonne de marchandises. Tableaux donnant le parcours moyen d'un voyageur et d'une tonne de marchandises sur les chemins du Nord, de l'Est, de Lyon, d'Orléans et du Midi.	117
Mouvement des marchandises sur la ligne de Paris à Strasbourg pendant un trimestre d'été.	118
Mouvements partiels pendant le même temps entre certaines stations à de très-petites distances.	118
Calculs de M. Minard sur le trafic entre stations intermédiaires.	119
Opinion de M. Courtois sur les calculs de M. Minard.	120
On ne doit pas faire dévier une grande ligne pour lui faire desservir les moindres bourgs.	120
Opinion de M. Guillon sur les tracés directs.	121
Tracé des vallées et des plateaux.	121
Opinion de M. le comte Daru sur le parallélisme des chemins de fer et des voies navigables.	125
Emplacement des gares extrêmes.	125
Gare du chemin de fer de Paris à Strasbourg : dépense d'établissement.	125
Subdivision de cette dépense.	125
Dépenses pour l'établissement du chemin entre Paris et la Villette.	126
Dépenses effectuées pour la construction de la gare de la Villette.	126
Gares communes.	129
Conditions dans lesquelles ces gares sont avantageuses.	150
Pentes et rayons de courbure.	150
Dans le tracé des lignes principales il faut réduire l'inclinaison des rampes et agrandir le rayon des courbes.	151
Travail de M. Teisserenc sur l'influence des pentes.	151
Influence des pentes sur la dépense de traction.	155
Frais d'entretien et de police de la voie sur le chemin de Strasbourg.	154
Dépenses occasionnées par les rampes du chemin d'Épernay à Reims.	155
Renseignements fournis par M. Koller sur le chemin de Turin à Gènes.	156
Frais de convois de voyageurs et de marchandises.	157
Décomposition de la dépense pour le transport des convois de voyageurs et de marchandises.	158
Proportion de la dépense sur les chemins de Vienne à Trieste et sur les chemins saxo-bavarois.	159
Conclusions tirées de ces exemples.	140
Opinion de M. Lechatelier sur l'influence des pentes.	142
Opinion de M. le comte Daru sur le même sujet.	142
Opinion de M. Couche.	145
Influence que peut avoir sur le tracé l'adoption du système Arnoux.	144
Importance de l'inclinaison et de la répartition des pentes sur un chemin de fer.	144
Quand, par raison d'économie, on doit préférer une pente variée, il faut diviser les lignes en parties sur lesquelles l'effort varierait du simple au double ou à peu près.	145

Inclinaison pour lesquelles l'effort du moteur est le même dans les deux sens.	145
Courbes de petit rayon, avantageuses dans certains cas, mais augmentant les frais de traction et forçant à réduire la vitesse des trains.	145
Tracé des embranchements.	146
Embranchements avantageux pour les grandes lignes.	146
Drainage des tranchées et souterrains. Courbes aux abords des stations.	147
Effets de la résistance de l'air sur une pente de 0 ^m ,01 en ligne droite.	147
Passages à niveau, non dangereux sur des alignements ou sur des remblais courbes, à éviter à l'extrémité des tranchées et des souterrains courbes.	149
Passages à niveau à l'extrémité des gares.	149
Opinion de M. Guillon sur l'emplacement des passages à niveau.	150
Gares de rebroussement.	150
Observations de M. Lechatelier sur les gares de rebroussement des chemins allemands.	151
Souterrains.	151
Les souterrains ne sont pas nuisibles à la santé des voyageurs.	151
Les fortes pentes sont très-nuisibles dans les souterrains.	151
Compensation des déblais. Dépôts et emprunts.	152
Observation de M. Belgrand sur le tracé du chemin de fer de Lyon.	155
Influence du vent et des neiges.	155
Observations de MM. Muntz, Goschler et Sauvage.	154
Conditions stratégiques.	154
Voies parallèles à la frontière, voies perpendiculaires.	155
Étude proprement dite.	155
Calcul du bénéfice.	156
Comparaison des tracés au point de vue de la spéculation.	157
Opinion de M. Paulin Talabot.	159
Limites de courbure.	161
Observation de M. Boulanger.	161
Courbes tournées en sens contraire.	165
Limites de pente.	165
Étendues des gares et dimensions de la voie.	166
Étendue des gares.	166
Ancienne gare du chemin de Saint-Germain à Paris.	168
Classification des gares suivant leur importance.	170
Dimensions de la voie.	172
Largeur de la voie.	172
Tableau indiquant la longueur des chemins à voies étroites, de 1 ^m ,44, à voies d'Irlande, à voies larges et à voies mixtes en Angleterre, Écosse, Irlande au 1 ^{er} janvier 1859.	175
Largeur de l'entrevoie.	175
Largeur des accotements.	176
Largeur des fossés.	176
Inclinaison des talus; règles à suivre pour la déterminer.	177-181
Disposition des talus.	178
Disposition des banquettes.	178
Précautions contre les neiges.	179
Observation de M. Müntz.	180
Fossés d'assainissement.	181

Espace occupé par le chemin.	182
Décomposition de cette surface.	182
Largeur moyenne de la bande occupée.	182
Largeur réelle sur certains chemins français.	185
Du tracé de quelques chemins de fer remarquables.	185
Division au point de vue du profil.	185
Description du tracé de certains chemins.	184
Chemins à pentes faibles.	185
Chemins de Paris à Lille, Valenciennes, Boulogne (chemin du Nord.) . . .	185
— de Paris à Rouen.	195
— de Lyon à Avignon.	197
— d'Avignon à Marseille.	202
— de Mulhouse.	207
— de Paris à Saint-Germain et de Paris à Auteuil.	200
— de Dublin à Kingstown.	215
— de Londres à Birmingham.	215
— Midland-Counties-Railway.	217
— Great-North-Railway.	218
— North-Midland-Railway.	218
— de Londres à Bristol.	219
— de Paris à Versailles.	221
— du Nord en Autriche.	225
— de Vienne à Glognitz.	225
— de Munich à Augsburg.	224
— badois.	224
Chemins à pentes moyennes.	226
Chemins de Rouen au Havre.	226
— de Paris à Lyon.	229
— de Paris à Orléans.	250
— de Paris à Strasbourg.	242
— de ceinture autour de Paris.	250
— de Londres à Brighton.	252
— de Londres à Douvres (South-Eastern-Railway).	252
— de Liverpool à Manchester.	252
— de Manchester à Leeds.	254
— de Newcastle à Carlisle.	255
— de Malines à Cologne.	255
— de l'Ouest (Suisse).	261
Chemins à fortes pentes.	262
Chemins de Birmingham à Gloucester.	265
— de Hetton.	265
— de Darlington à Stockton.	265
— de Cromford à Peakforest.	266
— de Saint-Étienne à Andrézieux et à Rouanne.	267
— de Saint-Étienne à Rouanne.	270
— d'Alais à Beaucaire.	270
— de Vienne à Trieste.	274
— saxo-bavarois : section Neuenmarkt à Marktschorgast.	277
— de Brunswick à Harzburg.	282
— de Stuttgart à Ulm.	283

— Central suisse.	285
— Nord-Est suisse.	288
— Union suisse.	289
— du Jura industriel.	291
— de Turin à Gènes	291

CHAPITRE V. — FRAIS DE CONSTRUCTION DES CHEMINS ÉTABLIS ET RÉDACTION DES DEVIS
POUR LES CHEMINS À CONSTRUIRE.

Prix de construction des chemins établis.	299
Tableau de décomposition des prix des chemins anglais.	501
Tableau du prix de revient des grandes lignes anglaises en 1845, avec l'indication du cube des terrassements sur une partie de ces lignes et de leurs produits.	506
Tableau des chemins français, indiquant la longueur des chemins à une et à deux voies, la longueur des voies accessoires par 100 kilomètres de chemin, la distance moyenne entre les stations, les dépenses moyennes de premier établissement par kilomètre, par l'État et par la Compagnie, les recettes brutes de l'exploitation par kilomètre, les dates de l'exercice et de l'ouverture de la ligne entière.	508
Tableau des chemins allemands, indiquant le parcours des lignes, la longueur des chemins exploités à une et à deux voies, celles des chemins exploités par l'État et par les Compagnies, la longueur des voies accessoires par 100 kilomètres de chemin, le nombre des souterrains, viaducs, ponts, la distance moyenne entre les stations, le prix de premier établissement par kilomètre et la recette brute de l'exploitation par kilomètre.	510
Tableau des chemins belges, indiquant la longueur des chemins exploités ou non par l'État, celles des chemins exploités ou non par les Compagnies, le prix total du premier établissement par kilomètre.	518
Tableau des chemins américains, indiquant le nom des États, le nombre des lignes, la longueur des chemins exploités, le prix total du premier établissement par kilomètre.	520
Comparaison des tableaux précédents.	520
Décomposition et classification des dépenses d'établissement.	521
Tableau des dépenses de premier établissement des chemins de fer anglais au 50 juin 1845. D'après les comptes rendus des Compagnies, comprenant les noms des chemins, leur longueur, la dépense par kilomètre pour terrains, travaux de toute nature, voies de fer, frais généraux, matériel et intérêts pendant la concession.	526
Tableau des dépenses de premier établissement par kilomètre des chemins français d'après les documents statistiques publiés par le ministère des travaux publics, comprenant le nom des lignes, les principales localités desservies, la date de l'ouverture de l'exploitation, la longueur en kilomètres à une et à deux voies, la longueur développée des voies de garage, la recette brute de l'exploitation pour l'année où la situation des dépenses a été faite, les frais généraux, terrains, terrassements, ouvrages d'art, clôtures, bâtiments, mobilier, voies de fer, accessoires de la voie, alimentation des machines, télégraphie électrique, matériel roulant, dépenses non classées, intérêts payés pendant la construction, approvisionnements et fonds de roulement.	526

Tableau des dépenses de premier établissement par kilomètre des chemins de fer belges au 31 décembre 1852, d'après le compte rendu officiel, comprenant l'indication des lignes et sections, la date de l'ouverture de l'exploitation, la longueur des sections en kilomètres à une et à deux voies, la longueur développée des voies de garage, la recette brute de l'exploitation en 1852, les dépenses pour terrains, terrassements, bâtiments, voies de fer, frais généraux, mobilier des gares et stations, accessoires de la voie, alimentation des machines, matériel roulant, approvisionnements de fer et métaux divers pour le matériel des transports	526
Tableau des dépenses de premier établissement par kilomètre des chemins de fer allemands, d'après le compte rendu des États et des Compagnies, indiquant le nom des états des lignes, des principales localités desservies, la date de l'ouverture de l'exploitation, la longueur en kilomètres des chemins à une et à deux voies, la longueur développée des voies de garage, la recette brute de l'exploitation, les dépenses pour frais généraux, terrains, terrassements, ouvrages d'art, clôtures, bâtiments, mobiliers, voies de fer, accessoires de la voie, alimentation des machines, télégraphies électriques, matériel roulant, dépenses non classées, intérêts payés pendant la construction, approvisionnements et fonds de roulement.	526
Études comparatives de ces tableaux.	528
Frais de Parlement en Angleterre.	528
Variations des frais généraux sur nos grandes lignes.	528
Terrains en France, en Belgique et en Allemagne, cause des différences de prix d'acquisition, comparaison des terrassements et travaux d'art, moyenne des frais de terrassement par kilomètre.	528
Moyenne du prix par mètre cube de terrassement, transport de terre compris.	532
Frais d'établissement de la voie	534
Compte de premier établissement et mise en exploitation de la ligne du chemin de fer de Paris à Orléans, avec embranchement de Juvisy à Corbeil — Tableau donnant la nature des dépenses d'après le projet primitif présenté en 1837 par M. Desfontaines, d'après le projet exécuté par M. Julien aux 29 février 1844 et 30 juin 1852.	558
Tableau du trafic annuel indiquant la nature du transport et des recettes en 1840, 1844 et 1851. Le nombre de voyageurs et de tonnes de marchandises transportées et les recettes brutes.	540
Des devis estimatifs des lignes à établir	544
Tableau comparatif du coût présumé et des dépenses réelles de construction des chemins de fer, indiquant le nom des chemins, la désignation des lignes, la longueur en kilomètre, la date de l'ouverture de la ligne entière, la dépense présumée d'après les devis, la dépense réelle d'après les comptes rendus, et la date de l'arrêté de compte.	544
Explication des différences entre l'estimation et la dépense.	542
Frais généraux.	545
Frais d'étude.	545
Pièces à produire pour la rédaction d'un avant-projet.	545
Dépenses.	545
Pièces à produire pour la rédaction d'un projet définitif; dépenses par kilomètre.	544
Terrains.	545
Tableau indiquant la superficie des terrains occupés totale et par kilomètre.	

le prix de revient total et par kilomètre. Le prix moyen de l'hectare sur certaines lignes de France.	546
Travaux d'art.	547
Tableau indiquant la longueur et le nom de certaines lignes de France, les dépenses de terrassement total et par kilomètre, les dépenses en ouvrage d'art courant total et par kilomètre, les dépenses en terrassements et ouvrages d'art courant, total et par kilomètre.	548
Prix de certains ouvrages d'art exceptionnels.	549
Clôtures et maisons de garde.	550
Bâtiments et stations.	551
Prix de certaines stations en Angleterre.	552
Prix de certaines gares françaises.	553
Prix des surfaces des bâtiments de 1 ^{re} , 2 ^e , 3 ^e , 4 ^e , 5 ^e et 6 ^e classes.	555
Surface et prix des ateliers et rotonde d'Épernay.	554
Ateliers, outillage d'Épernay, outillage de Montigny, outillage de la Villette.	554
Établissement de la voie.	555
Longueur développée des voies de garage.	556
Accessoires de la voie.	557
Matériel roulant.	558
Locomotives.	558
Manière de calculer le nombre de véhicules et de locomotives nécessaires à l'exploitation d'un chemin.	559
Parcours des machines locomotives, y compris le parcours des réserves à vide et le mouvement des gares des chemins de fer du Nord, de l'Est, d'Orléans et de l'Ouest.	559
Tableaux indiquant pour les chemins du Nord et de l'Est pendant l'année 1860, la nature et le nombre des machines, les parcours pour les services des voyageurs, des marchandises, du ballast, des machines seules et des mouvements de gare, le parcours total et le parcours moyen par machine.	561 et 562
Wagons.	566
Parcours moyen des véhicules de différentes espèces sur le Nord, l'Est, Orléans et Lyon.	568
Composition moyenne d'un convoi sur les chemins du Nord, de l'Est, de Rouen, d'Alsace, d'Orléans, de Lyon et de Belgique.	570
Tableau des places offertes et des places occupées par convoi sur les chemins du Nord, de l'Est, de Rouen, d'Alsace, d'Orléans et de Belgique.	572
Tableau du nombre de locomotives et de véhicules employés sur les chemins du Nord, de l'Est, d'Orléans et de Lyon-Méditerranée en 1850.	575
Parcours total des machines à voyageurs et à marchandises.	575
Parcours total des trains de voyageurs et de marchandises.	575
Parcours moyen d'un voyageur et d'une tonne de marchandise.	575
Voyageurs transportés à 1 kilomètre.	575
Tonne de marchandises transportée à 1 kilomètre.	575
Approvisionnements.	574
Contentieux.	574
Frais imprévus.	574
Des marchés à passer pour l'exécution des chemins de fer.	574
Marchés à forfait, opinions diverses sur ces marchés, inconvénients et dangers qu'ils présentent.	574
Marchés sur séries de prix : leurs avantages.	580

Des moyennes des prix de construction des chemins de fer en Angleterre, en France, en Belgique, en Allemagne et en Amérique.	582
Répartition de la dépense sur les grandes lignes de France.	585
Répartition de cette dépense sur les chemins de Nancy à Sarrebruck, de Metz à Thionville et de Strasbourg à Wissembourg.	587
Dépenses présumées des chemins d'une importance égale ou à peu près à celle de la ligne de Paris à Mulhouse, et à celles de Blesme à Gray et de Dijon à Besançon.	584
Dépenses d'établissement des chemins à une voie.	585
Dépenses d'établissement d'un chemin à deux voies.	586

CHAPITRE VI. — DES TRAVAUX DE TERRASSEMENTS ET DES TRAVAUX D'ART.

Travaux de terrassements.	588
Dépôts et emprunts, avantages et inconvénients de cette méthode.	589
Emploi des tombereaux et des wagons.	590
Creusement des tranchées au tombereau ou au wagon.	591
Différents modes de déchargement des wagons.	592
Déchargements à l'anglaise.	592
Pont de décharge.	594
Creusement des tranchées de grande profondeur.	595
Transport des terres.	598
Wagons de terrassements, conditions à remplir dans la construction de ces véhicules	599
Emploi des brouettes en Angleterre.	400
Chantiers de terrassements anglais.	401
Wagonnets, leurs poids et leur contenance.	405
Influence de la distance sur la nature des moteurs.	405
Transports à la brouette, aux tombereaux, aux wagons avec chevaux et aux wagons avec machines.	404
Tableau indiquant la dépense pour 1 mètre cube de terre ou de ballast pesant environ <u>1,600</u> kilogrammes à une distance de <u>50</u> à <u>1,000</u> mètres à la brouette, sur terrain naturel, au camion traîné par des hommes, au tombereau traîné par des chevaux. — Sur voies provisoires, aux wagons traînés par des chevaux au pas, ou aux wagons traînés par locomotive à la vitesse de <u>12</u> kilomètres à l'heure, sur voies définitives. Cube de <u>20,000</u> mètres aux wagons traînés par des locomotives.	406
Cube des terrassements des plus grandes tranchées connues.	407
Description de l'exploitation de la tranchée de Clamart.	407
— de pont sur Yonne.	408
— de Dockenberg.	410
— de Charmoilles.	411
— du chemin d'Arlon.	412
— du chemin de Coulommiers.	412
Inclinaison des talus.	414
Revêtement des talus.	414
Assainissement de la surface des talus.	415
Assèchement des tranchées.	417
Revêtement des talus en pierres sèches.	417

Filter général.	417
Mur de soutènement.	418
Éperons en pierres sèches.	419
Méthode Sazilly.	419
— employée par M. Masson au chemin de Mulhouse.	422
— des collecteurs employée par M. Ledru au chemin de Blème à Gray.	425
— Lalanne.	425
Consolidation du Steinberg.	425
Cas dans lesquels les assainissements deviennent impossibles.	427
Observation de M. Bruère pour la détermination des bancs de suintement.	428
Observations pour la construction des canivaux d'assainissement.	451
— pour l'assèchement des terrains sablonneux.	455
— pour le revêtement des talus.	455
— pour la construction des banquettes.	455
— pour la construction des cuvettes.	456
Travaux exécutés par M. de Regel pour l'assèchement de la tranchée de Soultz.	456
Assèchement souterrain sur certains chemins d'Allemagne au moyen du dalot filtre.	458
Description du système de consolidation adopté par M. Daigremont sur le chemin de Mulhouse.	459
Creusement des tranchées de drainage.	441
Posc des tuyaux de drainage.	441
Comblement de la tranchée de drainage.	442
Emploi des fossés supérieurs.	445
Précautions à prendre contre l'engorgement des tuyaux.	445
Établissement des drains transversaux.	444
Drainage de la plate-forme.	444
Cas où il existe une couche aquifer sous la plate-forme.	447
Inclinaison des talus des tranchées.	447
Comparaison des différents procédés employés pour l'assainissement des talus. Opinion de M. Chaperon.	448
Procédé Sazilly, et mur au bas des talus.	449
Murs en revêtement.	450
Filter général.	450
Pierrée en amont.	451
Drain en amont.	451
Assainissement souterrain.	452
Méthode des collecteurs.	452
Procédé Lalanne.	455
Résumé de cette comparaison et conséquences à en tirer.	454
Reconstruction des talus éboulés dans les tranchées.	457
Méthode employée sur le chemin de Londres à Birmingham.	457
Méthode employée par M. Bruère sur le chemin de Mulhouse.	458
Méthode employée sur le chemin de Wissembourg par M. Goschler	459
Mode de construction des remblais.	462
Remblais sur terrains compressibles.	465
Remblais sur terrains glissants.	464
Remblais glaiseux.	466
Causes des éboulements des remblais.	467
Réparations des éboulements.	469

Ouvrages d'art.	470
Pons ou viaducs de différentes natures.	471
— en bois.	471
— en pierres.	475
— en briques.	474
— en fonte.	474
— en fer.	474
— en fonte et fer.	475
— suspendus.	475
Combinaisons de formes et de matériaux employés dans la construction des pous et viaducs.	475
Pons ou viaducs en bois.	476
Systèmes divers.	476
Pons sur poutres en bois.	477
Estacade.	479
Pons sur arcs en bois.	481
Système de Bürr.	481
— de Town.	481
— de Long.	482
— de Howe.	482
Pons à supports en bois ou métal avec tabliers en bois.	482
Pons ou viaducs en pierres.	485
Viaduc du val Fleury.	485
— et pont de Nogent-sur-Marne.	484
— de Chaumont.	485
— de Comelle.	485
Viaducs du chemin d'Orléans et des chemins luxembourgeois.	486
Viaduc de Lockwood.	486
Viaducs allemands.	486
Opinions diverses sur les dimensions des ouvrages d'art en maçonnerie.	486
Viaducs droits et courbes.	486
Parapets en pierres ou en métal.	487
Piles culées.	487
Pons en pierres sur tranchées et sous remblais.	487
— sous remblais.	487
— à culées perdues.	488
Culées des viaducs avec arches à culées perdues.	489
Pons biais.	489
Pons en fonte.	489
Pons de Newcastle.	489
Pons sur le Rhône à Lyon et à Tarascon, — sur le canal Saint-Denis et sur le chemin d'Auteuil.	490
Pons en fer.	491
Pons sur poutres à petites portées.	491
— à grandes portées.	495
— tubulaires.	495
— en treillis.	496
Pont d'Asnières.	496
— de Langon.	496
— de Cologne.	497
— de la Dirshau.	497

Ponts à travées indépendantes ou solidaires.	497
— à poutres solidaires ou indépendantes.	498
— à âme treillissée avec demi-cylindres.	499
Pont Victoria.	499
Ponts de Conway et de Menui.	500
Ponts de MM. Gouin.	501
Pont de Kehl.	501
— de Cologne.	502
— de Bordeaux.	505
— de Varsovie.	505
Viaducs en Allemagne.	504
Pont sur la Dirshau.	504
— sur la Nogat.	504
— d'Offenbourg.	504
Viaducs en Suisse.	504
Pont sur la Sitter.	504
— sur l'Aar.	507
— de Fribourg.	507
Bowstrings.	507
Avantages et inconvénients de Bowstrings.	508
Pont de Saltash.	509
Pont Pauli.	510
Ponts avec arcs en fer sous le tablier.	514
Pont en fer du canal Saint-Denis.	514
Pont sur la Theiss à Szegedin.	515
Ponts en arcs sur le chemin de Rouen.	515
Pont de Windsor avec arc au-dessus du tablier.	516
Précautions à prendre contre l'oxydation du métal.	516
Charge imposée au fer dans les ponts.	516
Ponts en fer et fonte.	516
Pont de Newark.	516
Pont sur la Mersey.	516
Viaduc de Crumlin.	516
Ponts suspendus.	518
Pont sur la Harper.	520
Pont sur le Niagara.	522
Procédés de fondations tubulaires.	524
Fondations avec pieux à vis.	524
— avec pieux et palplanches en fonte.	524
— à l'aide du vide.	524
— à l'aide de l'air comprimé.	527
Procédés employés aux ponts de Rochester et Mâcon.	527
Procédé employé au pont de Bordeaux.	551
— au pont de Kehl.	555
— sur le Rhône à La Voulte.	558
— sur le chemin de Saint-Pétersbourg à Varsovie.	558
— au pont de Varsovie.	541
— au pont d'Argenteuil.	542
— au pont de Saltash.	546
Ponts tournants.	548
Souterrains.	548

1011

Percements des souterrains.	549
Méthode employée au percement du mont Cenis.	549
Installation des perceurs.	552
Attaque de la roche.	555
Tirage des mines.	554
Achèvement du souterrain.	557
Choix du système à employer.	558
Construction de la chaussée.	560
Généralités.	560
Ballast.	560
Fossés.	560
Nécessité d'avoir une chaussée bien sèche.	561
Capacité des fossés.	561
Puits absorbants de la tranchée de Clamart.	561
Ensablement.	562
Mur en pierres sèches pour soutenir le ballast.	562
Chaussées en Suisse, en Bavière et dans le duché de Bade.	562
Chaussée du chemin de Wissembourg.	563
— du chemin de Versailles (R. G.).	566
— sur terrains marécageux.	566
— sur pilotis, de la Caroline du Sud aux États-Unis, et à Pontipool dans le pays de Galles.	567
Chaussée des marais de Chatmoss sur le chemin de Liverpool à Manchester.	567
Instructions ministérielles pour la construction et l'entretien des chemins de fer de l'État bayarois.	567

FIN DE LA TABLE DU PREMIER VOLUME.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY
BERKELEY

Return to desk from which borrowed.
This book is DUE on the last date stamped below.

1 Sep 53

SEP 1 1953

JUN 10 1979

REC. CIR. JUN 8 1979

REC. CIR. JUN 8 1979

LD 21-100m-7,'52(A2528s16)476

YC 25551

683027

HE1031

P4

v.1

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

